Министерство энергетики Республики Казахстан
Акционерное Общество «Национальная Атомная Компания «Казатомпром»
Ассоциация «Ядерное общество Казахстана»

СБОРНИК ТРУДОВ

VIII-й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

3-5 августа 2017, г. Астана, Республика Казахстан

20 ЖЫЛ

KAZATOMPROM
NATIONAL ATOMIC COMPANY

Астана-2017

Министерство энергетики Республики Казахстан
Акционерное Общество «Национальная Атомная Компания «Казатомпром»
Ассоциация «Ядерное общество Казахстана»

СБОРНИК ТРУДОВ

VIII-й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

3-5 августа 2017, г. Астана, Республика Казахстан

Астана-2017

УДК 622.34(063)
ББК 33.2
А 43

Редакционная
коллегия:

Ибраев Б.М.,
Демехов Ю.В.,
Дуйсебаев Б.О.,
Дюсамбаев С.А.,
Мукушева А.С.

Актуальные проблемы урановой промышленности: Материалы VIII-й международной научно-практической конференции, 3-5 августа 2017: Сборник трудов — г. Астана, Республика Казахстан: 451 стр.

ISBN978-601-06-4434-2

В сборнике представлены доклады по актуальным проблемам атомной отрасли и урановой промышленности, связанные с расширением и укреплением урановой минерально-сырьевой базы, современными методами ее прогнозирования и разведки; актуальными вопросами повышения эффективности и интенсификации технологии подземного выщелачивания урана; геология, геотехнология и горно-подготовительные работы на урановых месторождениях; добыча, переработка продуктивных растворов, получение закиси-окиси урана, попутное извлечение редкоземельных металлов; высокие технологии ядерно-топливного цикла; ресурсы и эффективные технологии производства редких, редкоземельных металлов и высокотехнологичной продукции на их основе; образовательные, правовые и экономические аспекты функционирования атомно-энергетической отрасли. Сборник рекомендуется для специалистов атомной отрасли и урановой промышленности.

УДК 622.34(063)
ББК 33.2

ISBN978-601-06-4434-2

©АО «НАК «Казатомпром», 2017

Құрметті ханымдар мен мырзалар, әріптестер!

«Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» VIII-ші Халықаралық конференциясына қош келдіңіздер!

Жылдан жылғы Конференцияға қатысушылар тобы кеңейіп келеді. Осы жылы оған әлемнің 11 елінен 150 астам кәсіпорындар мен компаниялар жетекшілері, ғалымдар мен мамандар қатысып отыр.

Конференция адамзатты энергияның қажетті көлемі мен сапасымен қамтамасыз ету саласындағы күрделі ғаламдық сынақтар кезеңінде өткізіліп отыр. Қазақстан өндірілетін қуаттар жалпы энергобалансы және біздің территориямыздағы қол жетімді энергия көздері бойынша артық қуат өндіретін мемлекет болып табылатындығы белгілі. Еліміз тәуелсіздік жылдарында әлем нарығында энергия ресурстарын сенімді және жауапкершілігі жоғары жеткізушісі ретінде қалыптасты.

«Астана ЭКСПО-2017 «Болашақ энергиясы» көрмесінде Қазақстан әлемдік қауымдастықтың назарын энергия ресурстарын тиімді пайдалану мәселелерін шешуге, қалпына келетін және балама энергия көздерін, соның ішінде атом энергиясын дамытуға аударды.

Біз «Атом энергиясы әлемі» павильонында қазақстандық табиғи уран болашақта бейбіт атомға қызмет етуге дайын екендігі жайлы айттық. Біз әрбір келушіге атом энергетикасы болашақ энергиясының негізгі түрлерінің бірі екендігін жеткізуге тырыстық. Сіздерді күрделі атомдық компаниялар – Камеко, Арева және Росатом қатысуымен жасалған павильонның шараларына қатысуға шақырамын.

Ғылым мен технология саласындағы кең халықаралық ынтымақтастықсыз уран өнеркәсібінің маңызды мәселелерін шешу мүмкін емес. Атом индустриясын дамытудың бүкіләлемдік қарқыны әлемдік ядролық компаниялардың, ғалымдардың және атом өнеркәсібі мен уран өнеркәсібінің жоғары білікті мамандарының ғылыми-техникалық саладағы кең интеграциясын талап етеді.

Конференция қатысушыларының жоғары деңгейі және мәселелердің кең қамтылуы арқасында Конференция уран өнеркәсібінің әлемдік дамуында Қазақстан және басқа мемлекеттер үшін стратегиялық маңызды сала ретіндегі маңызды оқиға мәртебесіне ие болып отыр.

Сіздерге Конференциядан кәсіби байланыстар, қарым-қатынастар алуды, қызметтеріңізде шығармашылық табыстар, мықты денсаулық және біздің қонақжай Қазақстанымызда жақсы уақыт өткізуді тілеймін!

Құрметпен,
«Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ
Басқарма төрағасы
А.Жұмағалиев

Уважаемые дамы и господа, коллеги !

Рад приветствовать Вас на VIII-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности».

Год от года круг участников Конференции становится шире. В этом году в ней принимают участие более 150 известных в атомной отрасли руководителей предприятий и компаний, учёных и специалистов из 11 стран мира.

Конференция проводится в период проведения международной выставки «Астана ЭКСПО-2017 «Энергия будущего». Казахстан привлек внимание всей мировой общественности к решению проблем эффективного использования энергоресурсов, к стимулированию развития возобновляемых и альтернативных источников энергии, в том числе атомной.

О том, что казахстанский природный уран готов и в будущем служить интересам мирного атома, мы рассказали в павильоне «Мир атомной энергии» на территории Астана «ЭКСПО-2017». Мы постарались донести до каждого посетителя мысль о том, что атомная энергетика, несомненно, является одним из главных видов энергии будущего! Пользуясь случаем, приглашаю всех вас увидеть экспозицию и поучаствовать в мероприятиях павильона, который создавался с участием крупнейших мировых атомных компаний Cameco, AREVA и Росатом.

Решение важных задач урановой промышленности немыслимо без широкого международного сотрудничества в сферах науки и технологий. Общемировая тенденция развития атомной индустрии требует более широкой интеграции мировых ядерных компаний, учёных и высококвалифицированных специалистов атомной индустрии и урановой промышленности в научно-технической сфере.

Несомненно, широчайший масштаб охвата проблем и высокий уровень представительности на Конференции придаёт ей статус значимого события в мировом развитии урановой индустрии как стратегически важной отрасли для Казахстана и других стран.

Желаю Вам получить на Конференции максимум возможного профессионального и человеческого общения, творческих успехов в работе, крепкого здоровья и приятного пребывания в нашем гостеприимном Казахстане!

С уважением,
Председатель Правления
АО «НАК «Казатомпром»
Аскар Жумагалиев

Dear ladies and gentlemen, dear colleagues!

I am happy to welcome you at the VIII International Research and Practical Conference «The topical issues of the uranium industry».

The range of the Conference participants becomes wider every year. This year the Conference hosts more than 150 eminent leaders of enterprises and companies, scientists and specialists from 11 countries of the world, known widely in the nuclear industry.

The conference is held during the international exhibition Astana Expo-2017. The Energy of the Future. Kazakhstan has drawn the attention of the world community to the issues of effective use of energy resources, promotion of the development of renewable and alternative energy sources, including nuclear energy.

We have told in the pavilion World of the Nuclear Energy at Astana EXPO-2017 about the fact that Kazakhstan's natural uranium will serve the interests of peaceful atom further in the future. We tried to convey to every visitor the idea that nuclear power is undoubtedly one of the main types of energy of the future! Taking this opportunity, I invite you to see the exhibition and take part in the events of the pavilion, which was created with the participation of Cameco, AREVA and Rosatom, the world's largest nuclear companies.

The solution of important tasks of the uranium industry is impossible without extensive international cooperation in the areas of science and technology. The global trend of developing the nuclear industry requires a larger scale integration of the world nuclear and uranium companies, scientists and highly skilled specialists into the research and technical area.

Undoubtedly, the broadest scope of the issues and the high level of presentability of the Conference gives it the status of a significant event in the global development of the uranium industry as a strategically important sector for Kazakhstan and other countries

I wish you to get the maximum possible professional and human communication, creative success in your work, good health and a pleasant stay in our hospitable Kazakhstan!

Yours faithfully,
Chief Executive Officer
«NAC «Kazatomprom» JSC
A. Zhumagaliyev

МИРОВАЯ УРАНОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УРАНОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН И УВЕЛИЧЕНИЕ ВКЛАДА НАУКИ В ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

Ибраев Б.М.
АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

Основная стратегическая задача Компании – получение максимальной прибыли с каждого добытого в Казахстане килограмма урана на всех последующих стадиях ЯТЦ путем эффективного и оптимального использования минерально-сырьевой базы урана Казахстана в зависимости от конъюнктуры рынка.

Компания работает на рынках Европы, Центральной и Юго-Восточной Азии, а также на рынках Южной и Северной Америки. В настоящее время АО «НАК «Казатомпром» владеет достаточно солидным портфелем контрактов на поставку урановой продукции и обеспечено контрактами на ближайшие 10-15 лет.

Последние годы были непростыми для мировой энергетической отрасли. Негативные макроэкономические факторы привели к падению цен на энергоресурсы, в том числе на природный уран, и отрицательно повлияли на развитие рынка в целом. Но, несмотря на сложные внешне-экономические обстоятельства, Казатомпрому удалось мобилизоваться, трансформироваться и добиться высоких положительных производственно-финансовых результатов, увеличив чистую прибыль Компании более чем в 2,5 раза по сравнению с 2015 годом.

Казатомпром сегодня подтверждает статус крупнейшей уранодобывающей Компании, на долю которой приходится около 20% мирового рынка. Компания продолжает не только укреплять позиции мирового лидера по добыче природного урана, но и расширяет свое присутствие в других звеньях ядерно-топливного цикла.

Совместно с китайским партнером Казатомпром приступил к строительству завода по производству тепловыделяющих сборок для китайских АЭС. Реализация данного инновационного проекта, направленного на создание вертикально-интегрированной Компании, позволит выпускать урановую продукцию с высокой добавленной стоимостью.
В целях диверсификации продуктовой линейки и потенциальных рынков сбыта в 2016 году Компания подписала Соглашение о сотрудничестве с компанией ConverDyn. Партнерство Казатомпрома с ведущим мировым провайдером конверсионных услуг может обеспечит мировой атомной промышленности конкурентоспособный и надежный интегрированный источник UF6.

Подписано Соглашение между Правительством РК и МАГАТЭ о создании Банка низкообогащенного урана (НОУ) МАГАТЭ в Республике Казахстан. 29 августа 2017 года запланирован торжественный запуск Банка НОУ с участием Президенте РК Назарбаева Н.А. и Генерального директора МАГАТЭ Юкия Амано.

По поручению Главы государства АО «НАК «Казатомпром» проводит активную работу по трансформации и оптимизации затрат бизнеса. За 2016 год экономический эффект от реализации программы трансформации составил свыше 16 миллиардов тенге. Этот эффект достигнут за счет трансформации деятельности добычных и сервисных предприятий, автоматизации и модернизации производства, оптимизации закупочной и

складской деятельности, а также сокращения представительств Компании за рубежом.

На предприятиях Казатомпрома проведены мероприятия по энергосбережению и оптимизации технологических процессов, такие как:

— оптимизация технологических процессов для уменьшения норм расхода реагентов и материалов и повышения содержания урана;
— мероприятия по энергосбережению;
— повторное использование материалов и оборудования;
— внедрение новых эффективных методов ремонтно-восстановительных работ;
— модернизация энергооборудования;
— использование ВИЭ;
— модернизация оборудования;
— снижение энергоёмкости технологических процессов;
— ускорение технологических процессов.

В Казахстане с советских времен сохранились уникальная научная база для исследований в области урановой промышленности и ядерно-топливного цикла, квалифицированные научные и технические кадры. В Компании привлечены к научно-исследовательской и проектно-конструкторской работе 462 человека, из них 8 докторов наук и 54 кандидата наук. Компания один из лидеров в республике по научно-техническому потенциалу и является правообладателем 316 охранных документов на объекты интеллектуальной собственности.

Для сохранения мировой конкурентоспособности производств Компании и увеличение вклада науки на эффективность производства на предстоящие периоды и в долгосрочной перспективе внедряется системный подход развития науки по приоритетным направлениям НИР. Разработана и внедрена новая научно-технологическая политика, созданы 4 научных центра по приоритетным направлениям научной деятельности, которая позволит:

— осуществить эффективный контроль и координацию выполнения НИР ДЗО и АО «НАК «Казатомпром»;
— определить направления деятельности основных научных центров Компании – ТОО «ИВТ», АО «Волковгеология» и ЦНИЛ АО «УМЗ»;
— создать научные школы по направлениям НИР на основе Операторов направления НИР;
— вовлекать целевые предприятия в проблематику НИР на ранних стадиях разработок через их собственные заказы;
— осуществить комплексное сквозное планирование всех стадий НИР и внедрения результатов с учетом нужд производства;
— создать систему коммерциализации-капитализации нематериальных активов и учета/контроля интеллектуальной собственности;
— рационально использовать финансовые средства выделенные на науку и исключить дублирование.

За последние годы созданы и внедрены или находятся на стадии внедрения следующие проекты НИОКР:

— мобильный комплекс по переработке продуктивных растворов, для освоение локальных и удаленных (до 30-260 км) месторождений урана небольшой мощности (до 300 т), для которых неоправдано сооружение перерабатывающего комплекса

большой производительности. Мобильный комплекс 2015 году внедрен на предприятии ТОО «Казатомпром-Сауран» и в сентябре будет запущен второй комплекс для опытной добычи урана на месторождений Жалпак. Планируется разработка экспортной модели комплекса, а также комплекса для переработки растворов с извлечением редких и редкоземельных металлов;
— технология пероксидного осаждения урана с получением готового продукта, соответствующего стандарту ASTM, который уже внедрен на 5 предприятиях Компании. Ежегодный экономический эффект от применение данной технологии составляет более 10 млрд. тенге;
— передвижная установка для проведения химической обработки, которая позволяет создать безопасные условия перекачки, приготовления и подачи различных химреагентов непосредственно в фильтровую часть технологических скважин, сократить расходы на проведение РВР;
— технология ультразвукового воздействия на ионный обмен, применение которой на процессе десорбции позволяет снизить на 30% расход аммиачной селитры и значительно увеличить скорость ионообменного процесса и при этом частоты не влияют на механическую прочность ионообменной смолы;
— проведение в рамках международного Проекта Реактор Халден (HRP) полномасштабных реакторных исследований уран-бериллиевого топлива (УБТ) теплопроводность которого на 30% больше, чем у топлива на двуокиси урана. В ближайшие будут определены его основные эксплуатационные характеристики для последующей сертификации у потенциального потребителя и выхода с ним на рынок;
— разработка технологии получения порошков тантала для аддитивных технологий с оценкой возможности создания в РК нового современного наукоемкого производства, способного выпускать продукцию с высокой добавленной стоимостью;
— технологии для изготовления образцов сверхпроводящего провода для производства магниторезонансных томографов.

МИРОВАЯ УРАНОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ, ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ

Бойцов А.В.
Ураниум Уан Груп, Москва, Россия

Мировая атомная энергетика в целом восстановилась от аварии на АЭС Фукусима. Большинство стран с развитой атомной энергетикой уверены в ее будущем, с учетом применения новейших технологий в реакторостроении и эксплуатации АЭС, предъявляющих жесткие требования к безопасности атомных реакторов. Вместе с тем, ее последствия продолжают «лихорадить» урановый рынок.

УРАНОВЫЙ РЫНОК: СПРОС, ПРЕДЛОЖЕНИЕ, ЦЕНЫ

Все ведущие мировые аналитики в области уранового рынка прогнозируют устойчиво растущий спрос на уран в долгосрочной перспективе. Так согласно базовому сценарию развития мировой атомной энергетики ряда аналитических компаний, опубликованным в 2017 году, реакторные потребности в уране к 2030 г. возрастут с текущих 73 до 86-88 тыс.т в год. За этот период времени обеспечение из вторичных снизится более чем в три раза, а основной рост должен быть обеспечен первичной добычей природного урана, который не имеет альтернативы на этом горизонте. Его добыча к 2030 году должна увеличиться с нынешних 62 до 80 тыс.т к 2030 году, то есть почти на 30 %. Причем добыча урана на действующих рудниках сократится на 20 %, а планируемые новые рудники смогут лишь компенсировать выбывающие мощности. С 2024 года спрос на уран начнет превышать предложение и дефицит составит более 18 тыс.т к 2030 году, а при агрессивном сценарии развития атомной энергетики достигнет 48 тыс.т.

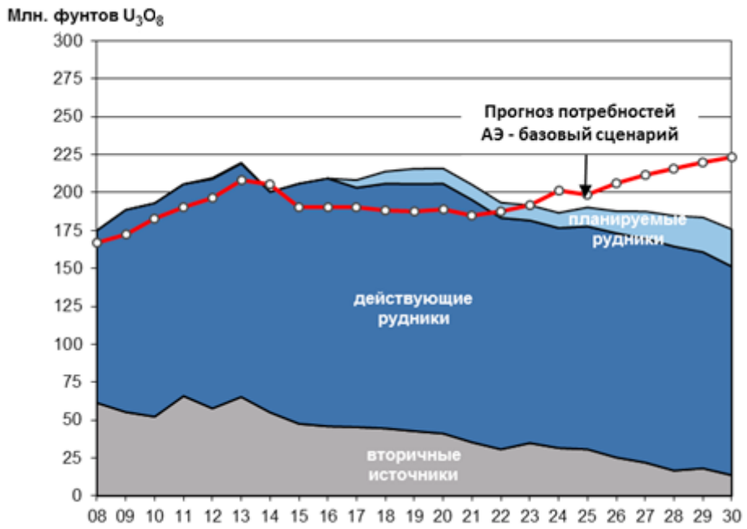


Рис.1. Прогноз спроса и предложения на уран до 2030 года

Более ранний аналитический обзор Всемирной ядерной ассоциации 2015 г. [1] показывает, что добыча к 2035 году должна увеличиться уже до 90 тыс.т, а необеспеченный

спрос планируется удовлетворять с 2023 года за счет добычи на новых перспективных рудниках в объеме 30 тыс.т урана в год к 2035 году.

Где взять недостающее количество? Сможет ли мировая урановая промышленность ответить на эти вызовы и удовлетворить потребности в природном уране? Достаточна ли для этого сырьевая база и добывающие мощности?

Вспомним историю. До начала 90-х годов прошлого столетия в связи с развитием военных ядерных программ добыча урана значительно превышала реакторные потребности (рис.2). В результате были сформированы крупные складские запасы урана.

В 90-х годах прошлого века с началом демилитаризации и конверсии ядерных программ ранее накопленные запасы начали активно расходоваться на нужды атомной энергетики. Это привело к существенному дисбалансу между добычей урана и его потреблением. С 1990 г. кумулятивные потребности в уране превзошли его добычу на 450 тыс.т. Добыча продолжала снижаться, а низкие цены на уран не стимулировали развитие новых производств и привлечению инвестиций в геологоразведку.

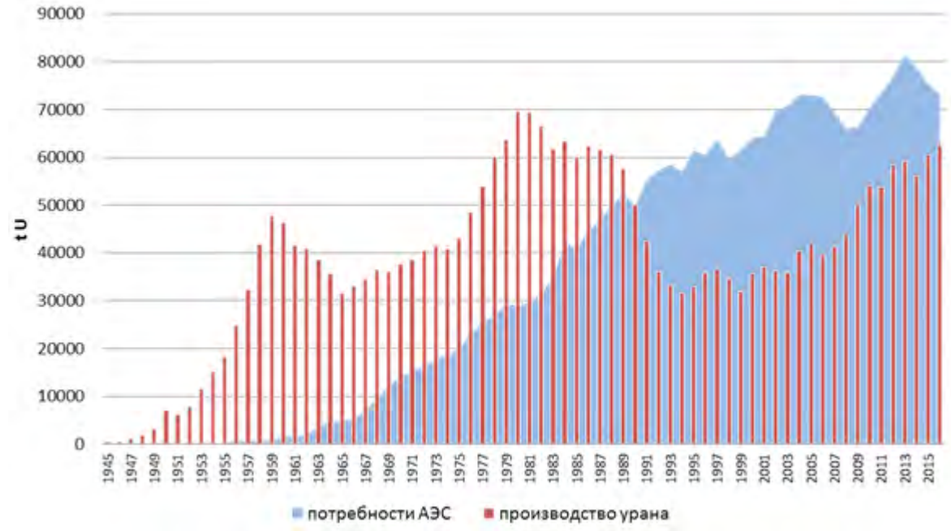


Рис.2. Историческое соотношение сырьевых потребностей АЭ и производства урана [2]

В середине 2000-х урановый рынок наконец ожил, а в 2007 году произошел небывалый рост цен на уран (рис.3), который дал мощный импульс развитию урановой промышленности. Как следствие выросли инвестиции в геологоразведку, были открыты крупные месторождения в Канаде и Африке, компании стали готовить к освоению ранее остановленные резервные проекты.

Урановый кризис 90-х годов во многом повторился и в наши дни. Трагедия Фукусимы привела к закрытию ряда реакторов и распродажи энергокомпаниями части складских запасов, что обусловило дисбаланс между спросом и предложением, который по-прежнему сохраняется. Как следствие наблюдается затянувшееся падение цен на уран: с 72 на момент Фукусимы до сегодняшних 20 долл. за фунт.

В сложившихся условиях низких цен, ключевые игроки пересматривают планы по вводу новых месторождений в пользу решения задач повышения экономической эффективности и устойчивому развитию действующих предприятий. Значительно сокращаются инвестиции геологоразведку как со стороны ведущих производителей, так и многочисленных компаний юниоров [2] (рис.4). Так кризис на урановом рынке привел к двукратному сокращению инвестиций в разведку в 2015 году. Несмотря на это, Канада, Китай и США поддерживают инвестиции на высоком уровне. На Китай приходилось более 90% инвестиций в геологоразведку за рубежом в 2014-2015 гг.

Рис.3. Динамика мировых цен на уран с 2004 по 2017 год (публичные данные UxConsulting)

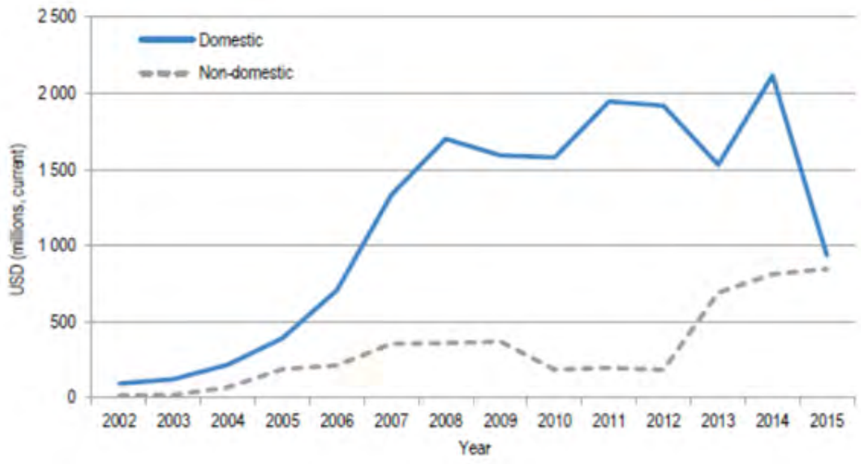


Рис.4. Исторические инвестиции в урановую геологоразведку [5]

Кроме цены на уран, на реализацию планов производителей урана влияют политические, социальные, экологические, технологические, технические факторы. Однако речь идет не об отказе от новых проектов, а о разработке более эффективных технологических решений.

На фоне общей тенденции сдержанного развития уранового рынка, выделяется агрессивная политика Китая, нацеленная на обеспечение растущих будущих потребностей атомной энергетики. Она заключается в активном импорте урана для создания крупных складских запасов, участии в капитале крупных урановых проектов за рубежом, активизации добычи и геологоразведки урана внутри страны. Например, по оценке аналитиков, накопленные Китаем с 2008 года складские запасы превысили 130 тыс.т урана.

ДОБЫЧА УРАНА

Несмотря на депрессивный рынок добыча уран продолжала рост, а в 2016 году и вовсе достигла рекордного показателя за последние 23 года в 62 тыс.т (рис. 5). Основной рост обеспечил Казахстан, за 10 лет увеличив добычу более чем в 6 раз. В 2016 году Казахстан добыл 40% мирового урана. Среди компаний Казатомпром также прочно удерживает лидерство с 21% от общемировой добычи урана. Далее следуют канадская Камеко, французская Арева, незначительно опередившие Росатом в 2016 году после запуска рудника Cigar Lake в Канаде в 2015 г. Доля Росатома в мировой добыче составила 13%, из которых 8% производство компании Uranium One.

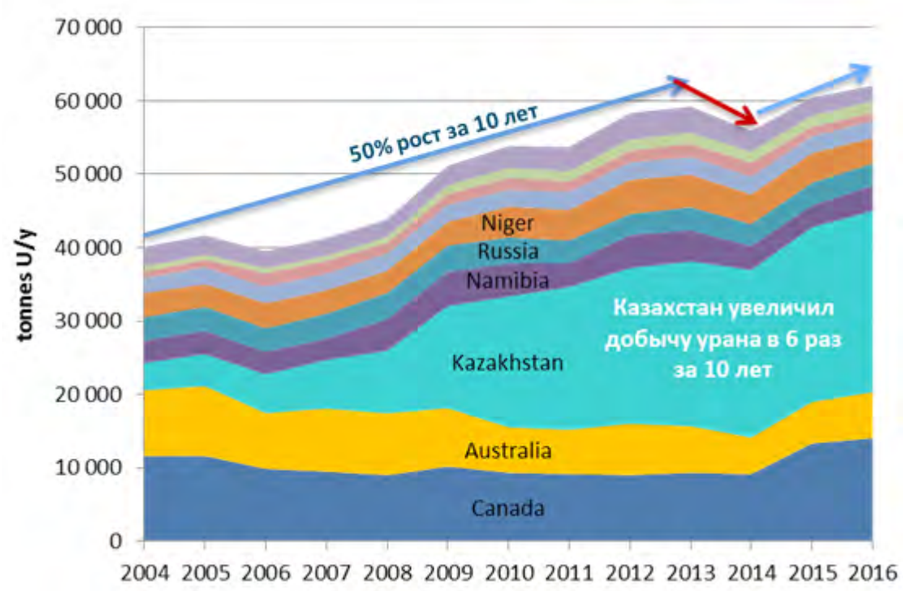


Рис.5. Историческая добыча урана по странам (публичные данные компаний и оценки автора)

Основным способом добычи уран с 2010 года стало скважинное подземное выщелачивание, ранее считавшееся нетрадиционным способом. Его доля выросла с 20% в 2005 г до 50% в 2015. Парадоксальный рост добычи урана на фоне низких цен объясняется, тем, что выживают только крупные компании с высококачественными месторождениями или с приемлемыми долгосрочными контрактами.

СЫРЬЕВАЯ БАЗА УРАНА

Но срок отработки любого месторождения конечен, поэтому ключевым фактором устойчивого роста добычи урана является качественная сырьевая база. Согласно, так называ-

емой, Красной Книге по урану МАГАТЭ-ОЭСР 2016 года [2], общий объем всех разведанных ресурсов достаточен для обеспечения будущих долгосрочных потребностей. За 6 лет они увеличились на 21% и по состоянию на 01.01.2015 составили около 7,6 млн.т, вместе с тем, ресурсы стоимостной категории менее 80 долл/кг, являющиеся основой для планирования производства добывающих компаний, сократились за этот же период на 43% и составляют около 2,1 млн.т (рис.6). При этом из недр за всю историю уже добыто 2,5 млн.т урана, в основном, самых дешевых ресурсов. Таким образом, большая часть слабо разведана и относится к высоким стоимостным категориям.

По оценке автора, кумулятивная добыча урана до 2030 года ведущими компаниями составит 1,2 млн.т урана, что составляет 60% от запасов менее 80 долл./кг. За это время запасы этой категории собственно урановых месторождений сократятся почти в два раза, а более половины оставшихся запасов будет приходиться на Олимпик Дэм, где уран попутный компонент и его добыча зависит от конъюнктуры цен на медь. Таким образом, после 2020 года возможен дефицит «дешевых запасов».

Учитывая вышеизложенное, а также то, что период от начала поисков до освоения месторождения составляет не менее 10 лет, чрезвычайно актуальна проблема активизации урановой геологоразведки, нацеленной на открытие новых крупных месторождений с ресурсами низкой стоимостной категории.

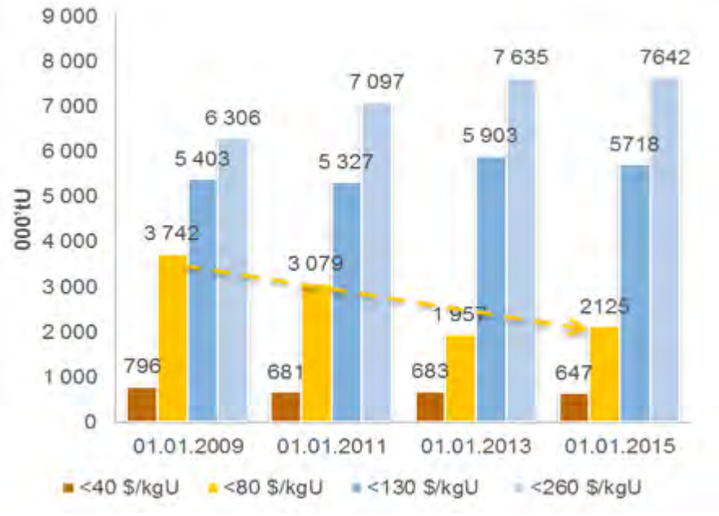


Рис.6. Структура и динамика изменения мировых ресурсов урана [2]

УРАНОВАЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА

Всего в мире за исторический период было открыто более 1 000 месторождений урана. Более или менее надежные данные по истории открытия для 200 объектов, показывают, что количество открываемых месторождений за период с 40-х гг. прошлого столетия неуклонно сокращалось. Абсолютный минимум приходится на 90-е годы, и лишь в текущем столетии наметился некоторый рост.

Это говорит о том, что эра простых открытий прошла. Открытие месторождений сложный, дорогостоящий и длительный процесс. Вначале поисками выявляются геофизи-

ческие или геохимические аномалии, затем, даже если при их изучении удается обнаружить собственно урановую минерализацию, оценка промышленного значения этих проявлений может растянуться на годы, прежде чем будет доказана реальная промышленная ценность начального открытия. По оценке AREVA, весь этот процесс занимает в среднем около 15 лет и требует при положительных результатах и открытии среднего по размерам месторождения затрат порядка 50 млн. евро (рис.7).

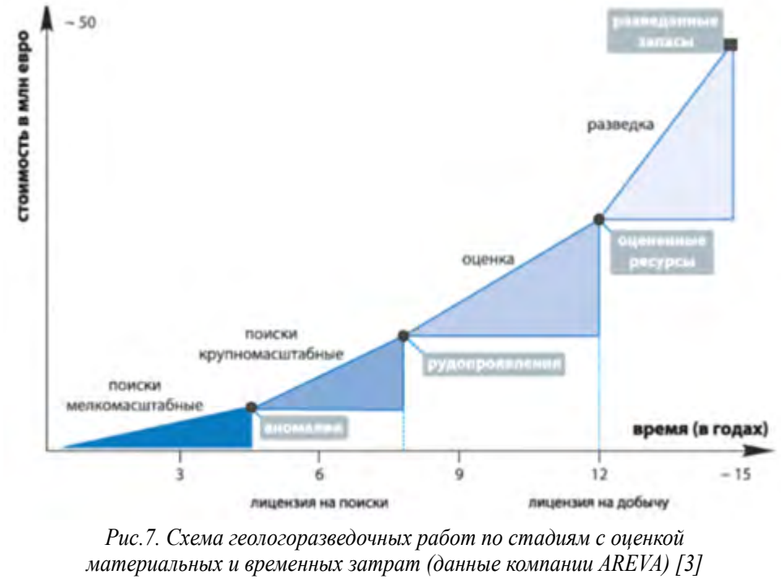


Рис.7. Схема геологоразведочных работ по стадиям с оценкой материальных и временных затрат (данные компании AREVA) [3]

Эффективность геологоразведочных работ прямо пропорциональна их объемам, а последние зависят от инвестиций. В свою очередь размер инвестиций в рыночных условиях определяется уровнем цен на уран. Чем более высокую прибыль сулят вложения в урановую отрасль, тем больше средств направляется на поиски новых источников сырья. Наметившийся в конце 2000-х годов рост открытий был обеспечен ростом цен, ассигнований и объемов геологоразведочных исследований. Однако текущее падение спроса и цен на уран вызвало сокращение геологоразведочных работ и спад их результативности. Графики цен и инвестиций в геологоразведку оказываются почти синхронными (рис.8).

Рис. 8. Динамика мировых цен на уран (1) и ассигнований на геологоразведочные работы (2) в период 1970–2009 гг. [3]

Однако никакими вложениями нельзя обеспечить выявление новых объектов, если их нет в природе, и в целом результативность геологоразведочных работ за исторический период имеет отчетливую тенденцию к снижению. Большинство сделанных в последние годы открытий состоялись в пределах областей, в той или иной мере определившихся в качестве перспективных на уран еще в 70–80-е годы. К сожалению, в последние двадцать лет поисковые работы не привели к значимым открытиям новых месторождений песчаникового типа, связанных с региональными зонами пластового окисления для отработки ПВ. В основном осуществлялся перевод прогнозных ресурсов в разведанные запасы на ранее открытых месторождениях.

Вместе с тем, методика поисковых геологоразведочных работ на этот тип месторождений была успешно реализована советскими геологами и привела в свое время к великим открытиям крупнейших урановорудных провинций в Казахстане и Узбекистане, сырьевой потенциал которых еще далеко не исчерпан. Открытие новых месторождений данного типа можно ожидать также в: Витимском районе (Россия), меловых впадинах Монголии и Китая, многочисленных осадочных бассейнах в Вайоминге и Техасе, бассейн Frome в Австралии. Результаты геологоразведки последнего десятилетия позволяют также рассматривать перспективы открытия новых урановорудных районов, связанными с отложениям системы Кару в странах центральной и южной Африки и бассейна Парана в Южной Америке.

Важно еще раз подчеркнуть, что ресурсы урана в недрах есть функция предельной себестоимости получения из них конечной продукции, а последняя связана с ценой, по которой потребитель согласен ее приобретать. Текущие спотовые цены на уран не соответствуют ожиданиям производителей урана и не способствуют инвестициям в геологоразведку.

УРАНИУМ УАН - ЧЕТВЕРТЫЙ В МИРЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ УРАНА

Отвечая на вызовы времени и с целью гарантированного долгосрочного сырьевого обеспечения потребностей в уране предприятий ядерного топливного цикла, Росатом в 2010 году приобрел канадскую компанию Ураниум Уан, и консолидировал на ее основе высокоэффективные активы в ключевых «урановых» регионах мира.

Реализуемая совместно с НАК Казатомпром взвешенная инновационная техническая политика в совокупности с уникальными по своим геологическим и технологическим характеристикам месторождениями в Казахстане, обеспечивают важное конкурентное преимущество Ураниум Уан как производителя с самой низкой себестоимостью добычи урана.

Проекты Ураниум Уан диверсифицированы как географически на трех континентах, так и по всему производственному циклу: геологоразведка, проектирование, строительство рудников и добыча с тем, чтобы выбывающие мощности компенсировались новыми рудниками. За прошедшие семь лет производство Ураниум Уан выросло почти в 5 раз (с 1 102 т в 2008 до 4 919 т в 2016 году), что позволило выйти на четвертое место в мире среди урановых компаний. Разведанная сырьевая база и планируемые производственные мощности способны обеспечить дальнейший рост при благоприятных рыночных ценах. Ресурсная база за 4 года увеличились в 1.4 раза.

С целью восполнения и развития сырьевой базы, Ураниум Уан осуществляет геологоразведку как в уже определившихся урановорудных районах и в зонах своего присутствия, так и в новых странах. Приоритетным направлением могло бы стать сотрудничество с НАК Казатомпром в области поиска новых месторождений для подземного выщелачивания урана. При этом будет использован уникальный опыт советской и российской школы урановой геологии, приведший к созданию крупнейшей в мире сырьевой базы урана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The Nuclear Fuel Report. Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2015-2035. World Nuclear Association, September 2015.
2. URANIUM 2016: Resources, Production and Demand. A joint report by the NEA and IAEA, OECD 2016.
3. ***Живов В.Л., Бойцов А.В., Шумилин М.В.*** Уран: геология, добыча, экономика. М.: РИС «ВИМС», 2012

УРАНОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ

Машковцев Г.А.
ФГБУ «ВИМС», Москва, Россия

Минерально-сырьевая база урана РФ достаточно велика – ее запасы составляют более 700 тыс.т, а прогнозные ресурсы достоверных категорий P_1 и P_2 – около 730 тыс.т. Основные запасы урана связаны с четырьмя определившимися районами – осваиваемыми Стрельцовским, Витимским, Зауральским и находящимся в резерве Эльконским. Прогнозные ресурсы размещаются главным образом на перспективных площадях Сибири и Д. Востока. Ведущими промышленными типами являются: жильно-штокверковый в вулкано-тектонических структурах (Стрельцовский р-н), гидрогенный в русловых структурах (Зауральский и Витимский р-ны) и метасоматический (Эльконский р-н). В качестве одного из перспективных является тип древних структурно-стратиграфических несогласий (ССН).

Стрельцовский район представляет собой группу месторождений, расположенных в пределах одноименной ВТС – стрельцовское рудное поле (СРП). Основная часть месторождений отрабатывается, а некоторые отработаны. В связи с необходимостью компенсации убывающих запасов подготавливается к освоению Аргунское месторождение. Кроме того, после всестороннего анализа изученности СРП в ее пределах выделены участки для поисков богатых руд.

Витимский район представлен системой неглубоко залегающих рудоносных неогеновых четвертичных структур, каждая из которых содержит небольшие (n×тыс.т) запасы урана, но в совокупности образуют значительный разведанный и подготовленный к освоению методом СПВ ресурсный потенциал. В настоящее время разрабатываются объекты Хиагдинского рудного поля с годовой производительностью порядка 1 тыс.т. Наряду с этим в районе имеется целый ряд оцененных рудоносных русловых структур, а на флангах – значительный ресурсный потенциал, требующий своего изучения и реализации поисковыми работами.

Зауральский район объединяет три гидрогенных русловых объекта – Далматовское, Хохловское и Добровольное, первые два из которых уже разрабатываются, третье подготавливается к освоению. Оруденение связано с песчано-глинистыми отложениями нижней юры-верхнего мела, залегающими на глубинах 450-550 м. К настоящему времени подготовлен технико-технологический комплекс по попутному извлечению из продуктивных растворов скандия.

Месторождения Эльконского района связаны с метасоматически измененными зонами глубинных разломов и образуют протяженную (до 25 км) «зону Южную» с вертикальным размахом оруденения от 400 до 1 000 м. Наряду с ураном в рудах в промышленных концентрациях присутствуют золото и молибден. Однако из-за низких компонентов, значительных глубин и сложных горно-технических условий разработки, а также в связи с низкими ценами на уран освоение месторождений отнесено на период после 2025 г. Кроме названных крупных урановорудных районов на территории РФ, особенно в Сибирском и Дальневосточном регионах, ранее выявлено большое число малых, преимущественно приповерхностных месторождений – Витлаусское и Талаканское в Бурятии, Приморское в Хакасии, Ласточка в Приморье и целый ряд других. Предварительно технико-экономические расчеты свидетельствуют о рентабельности их освоения даже в современных неблагоприятных экономических условиях. При этом наиболее эффективная организационно-технологическая схема разработки объектов – карьерная добыча и кучное выщелачивание на месте. В отдельных случаях, как, например, на месторождении Березовое с бета-уранотиловым жильным оруденением в гранитах, после исчерпания «карьерных» запасов, предусматривается подземное скважинное и блочное выщелачивание. В зависимости от количества одновременно осваиваемых малых объектов суммарная годовая производительность по урану может составить от 1 до 2,5 тыс.т.

Перспективы выявления новых объектов связываются с рассмотренными выше тремя геолого-промышленными типами урановых месторождений. Прогнозные площади на наиболее экономичные гидрогенные месторождения руслового типа установлены на флангах Витимского района и на обширной площади северо-западного обрамления Томь-Колыванского поднятия, на пластово-эпигенетические объекты – в крупных осадочных бассейнах Приморья. В этих районах в настоящее время ведутся поисковые работы. Большой практический интерес представляют площади, перспективные на выявление жильно-штокверковых объектов в ВТС, аналогичных месторождениям Стрельцовского района. Подобные структуры размещаются в Забайкалье, Приморье, на Чукотке и в некоторых других районах. На одних из них (в Забайкалье) поиски завершаются, на других ведется подготовка к их проведению.

Особое значение для развития геологоразведочных работ на уран связывается с объектами типа «несогласия», характеризующихся, как известно, наиболее высоким качеством оруденения. Наиболее перспективными на этот тип являются древние гранитизированные складчатые формации южного обрамления Восточно-сибирской плиты, где уже выявлены отдельные, небольшие по масштабам месторождения – Столбовое, Чепок, Ансах и другие. В настоящее время на отдельных фрагментах колоссальной по протяженности металлогенической зоны проводятся и планируются поисковые и прогнозно-минерагенические исследования.

Основная проблема выявления урановых объектов в скальных породах связывается с существенным исчерпанием приповерхностных легкооткрываемых месторождений, что, кстати, свойственно и для урановоносных территорий мира. Перспективы расширения уранового потенциала РФ в этом сырьевом направлении определяется необходимостью обнаружения скрытого оруденения, для чего требуется существенное совершенствование методики и технико-технологического комплекса геологоразведочных работ. В этой связи институтом проводятся научно-исследовательские и опытно-методические работы, включающие оценку возможности применения беспилотных аэрогеофизических, высокоточных наземных электромагнитных, грави- и сейсморазведочных, специализированных геохимических и изотопно-геохимических методов, с натурной их апробацией на эталонных объектах. Ожидается, что использование этого методического комплекса позволит с наибольшей достоверностью локализовать детальные перспективные участки для проведения дорогостоящих горнобуровых работ и, в конечном итоге, выявить новые, в т.ч. крупные месторождения с богатым урановым оруденением.

NUCLEAR FUEL MANUFACTURING TODAY AND TOMORROW

Reimann P., Morillon T.
AREVA NP, France

Contrary to the other front-end fuel cycle services, nuclear fuel fabrication is by no means a commodity, or easily substituted product. Fuel assemblies are highly engineered product, specialized to each individual customer specification, with major related services. Operated in a highly challenging environment, they have to meet extraordinary safety requirements under normal and accidental conditions.

Fully integrated from zirconium sand to fuel assemblies' final delivery at nuclear power plants, AREVA NP operates three fuel manufacturing plants in France, Germany and the USA. The manufacturing lines installed in each of these plants are used to transform low-enriched ($\leq$ 5 % U^{235}) UF_6 into UO_2 powder and pellets and assemble the fuel assemblies using the pellets together with components produced either inside or outside of these same plants. Each of these components is specifically designed and manufactured to reach the highest standards of performance and reliability expected by our final customers. Fuel manufacturing teams work in close collaboration with the zirconium manufacturing lines, design engineers and sales units. Our key drivers are safety, security and quality. In addition to providing our products on time and of the highest quality to our customers, our objective is to secure the environment and take care of our employees' daily working conditions. AREVA NP is leader and has a long and continuous experience in technology transfer/ technology license projects all over the world. Its fuel manufacturing technologies to manufacture highly proven fuel products, as well as its state of the art equipment and unique and patented processes are successfully deployed under license in multiple fuel manufacturing plants in China, Korea, USA, Russia, Brazil, Japan, Kazakhstan and England, from conversion of UF_6 to fuel assembly shipping. AREVA NP provides its technology licensees a full package of services such as qualification, equipment upgrades, component supply, as well as important and regular training sessions to support skills and competencies development.

New manufacturing technologies and related processes must be developed in order to bring safety to a next higher level, and to respond to new products requirements developed by our fuel designers to increase performance, economics and quality/reliability continuously. These developments require highly skilled resources in manufacturing engineering, capable to integrate stringent safety requirements, but also able to deal with complex licensing processes. Despite the fact that these requirements are country dependent, AREVA NP is taking advantage of its resources available worldwide and their strong experience. In a changing marketplace, AREVA NP is putting emphasis on its partners beyond technology licenses on a project basis and is building longer term cooperation, e.g. through manufacturing and/or technical cooperation agreements in many countries, considering its licensees as partners (Russia, Brazil, Kazakhstan, China...).

AREVA NP's fuel products and technologies are deployed in numerous nuclear power plants all over the world and all our manufacturing plants operate with state-of-the-art nuclear fuel manufacturing technologies and processes responding to the highest standards. There is a strong interdependence between fuel behavior in core, fuel design requirements and fuel manufacturing processes requirements. AREVA NP's manufacturing processes ensure that the end user, the utility customer, operates with nuclear fuel products meeting all in-core product

performance, safety and reliability requirements, and provides the best economics in the fuel cycle. AREVA NP as partner of Technology licenses projects ensures new comers to build long term cooperation, increase skills and competencies while operating with the highest standards recognized in the world.

A MULTI-SITE MULTI-NATIONAL APPROACH FOR INTEGRATION OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE

Choi Jor-Shan*
[e]Power Consulting, CA, USA

The nuclear accident in Fukushima drew an attention to the intractable problem of «what to do with the used nuclear fuel that are generated, stored and accumulated at nuclear power stations?» Technically, geologic disposal of used fuel/high-level radioactive wastes (HLW) is a robust solution, but institutional issues such as public acceptance must be resolved. For used fuel/HLW in existing and newcomers nuclear power programs, the responsibilities of managing and finally disposing of these materials rest upon the owner countries. However, the ability to properly disposing used fuel/HLW (e.g., finding suitable geologic repositories) is not equal among owner countries and not easy for some countries, hence, a multi-site/multi-national arrangement (MSMNA) is proposed here to help manage and dispose of used fuel/HLW in existing and newcomers nuclear programs.

The proposed MSMNA is to be led by two principle groups of countries: (1) the three major nuclear-power countries, e.g., China, Russia, and the US; and (2) the three major uranium producers, e.g., Australia, Canada, and Kazakhstan. It is to the vast interest of these six countries that the used fuel/HLW are properly managed and disposed of in good governance and environmental compliance. Other interested countries/parties can also involve by contributing financial assistance and in-kind services.

The MSMNA project involves a «holistic» concept of integrating the nuclear fuel cycle. For the front-end, URENCO has already operated a multi-sites/multi-countries control of enrichment enterprise where three countries, e.g., UK, Germany, and Netherlands each operates an enrichment facility within its border. URENCO uses a business case (e.g., supply and demand in enrichment) to make the enterprise work, and at the same time, provides a MSMNA control of the enrichment technology to enhance nonproliferation. For the nuclear back-end, the main objective of MSMNA would involve (1) the take-away/back of used fuel by exporting countries (e.g., technology and/or uranium exporters), (2) the construction and operation of interim storage facilities at multi-sites within the MSMNA, (3) the assignment of used fuel taken back from existing and newcomers nuclear program to one of the MSMNA multi-site facilities.

*Also affiliated with UC Berkeley Nuclear Research Center. The opinion expressed here are those of the author and not necessary those of his affiliations.

IFE AND THE OECD HALDEN REACTOR PROJECT: INNOVATION FOR IMPROVED NUCLEAR ENERGY PRODUCTION

McGrath M.A.
OECD Halden Reactor Project, Halden, Norway

THE OECD HALDEN REACTOR PROJECT

The safe and reliable operation of nuclear power plants (NPPs) is supported by long-term national and international R&D that has the ability to provide solutions for current and future technical challenges. The OECD Halden Reactor Project (HRP) is a leading, internationally sponsored project organised under the auspices of the Nuclear Energy Agency (NEA) and operated by the Institute for Energy Technology (IFE) in Norway, with the specific aim of improving safety and reliability of NPPs. The HRP started in 1958 and since then a new 3-year research programme has been devised by the Project's management together with the participating organisations for every subsequent 3-year programme period. The organisations participating in the HRP have varied over the last 59 years but have always fully represented the nuclear community, encompassing licensing and regulatory bodies, utilities, vendors and technical support and research organisations. Twenty countries have membership in the HRP today. The active guidance and scrutiny exerted by the membership on the HRP research programme ensures that it remains focused on issues of direct and practical relevance to the nuclear community and delivers solutions in a direct and effective manner.

By utilising its expertise and experimental capabilities, the HRP delivers research results under three main topic areas for the membership, generating key information for safety and licensing assessments.

- Nuclear fuels performance under normal operation and transient conditions, as well as under accident scenarios, with emphasis on extended fuel utilization.
- Nuclear power plant materials behaviour under the combined deleterious effects of coolant water chemistry and neutron irradiation, with emphasis on effective ageing management.
- Human Factors and Digital Systems research for existing and new reactors including human reliability, human-system interface design, computerised surveillance systems and software dependability.

The collaborative nature of the HRP is further fostered by member organisations sending guest scientists to Halden (there have been more than 400 since 1958), who participate directly in research activities and gain training in an international research environment.

The financing of the HRP is based on the principle that countries with high economic power and installed nuclear capacity contribute more than countries with less of both. The budget for the 2015-2017 programme period amounts to ~430 million Norwegian kroner and as the host country, Norway covers 35% of the budget. The research results are shared equally with the participants, and each member country has the same possibility to influence the direction of the research programme. It is a matter of pride that the HRP management achieves consensus on the content of each 3-year research programme, without recourse to voting, and delivers a high level of cost benefit to each participating organisation.

NUCLEAR FUELS AND MATERIALS SAFETY RESEARCH

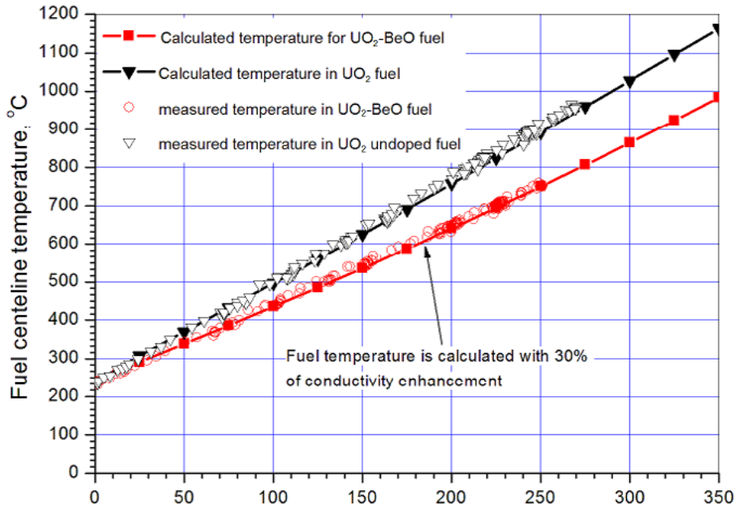
Safe and economical operation of nuclear power plants remains a priority for the nuclear industry, and understanding the phenomena that challenge fuel integrity and component lifetime is essential. Test reactor experiments can generate qualified performance data for model development, validation of fuel performance codes and the formulation of safety criteria. The Halden Reactor (HBWR), the basis for the HRP, is unique amongst test reactors with its extensive range of experimental systems and pressurised loops providing thermal-hydraulic and coolant chemistry conditions prototypic of all commercial LWRs. A suite of test rigs, all designed and fabricated in-house, enable fuels and materials to be subjected to different modes of operation within the HBWR such as normal conditions for long periods of time, short transient conditions and even accident scenarios. The HRP has also developed a range of reliable in-pile instrumentation able to measure all the key performance characteristics of fuel and component materials, which can be attached to fresh or commercially irradiated samples. The HBWR with its various experimental facilities and capabilities has developed into a powerful tool for international nuclear safety research; the Halden reactor is regarded in many countries as a strategic asset for testing nuclear fuel and reactor components.

The Halden reactor, with its various experimental facilities and capabilities is regarded in many countries as a strategic asset for testing nuclear fuel and reactor components.

Within the HRP nuclear fuels and materials topic areas, numerous separate research projects are performed with focus on fuel safety and operational margins as well as plant ageing and degradation. All the projects take the form of highly instrumented irradiation testing carried out in the HBWR followed by post irradiation examination (PIE). Projects can be grouped as follows:

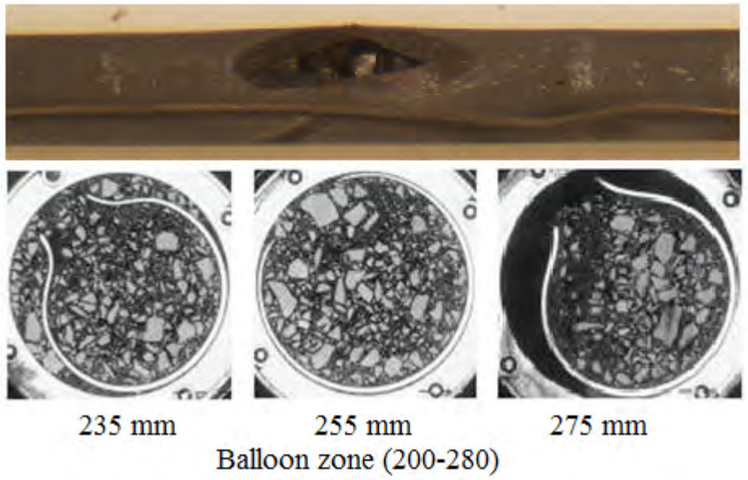
- **Integral fuel performance tests** which measure properties and phenomena such as fuel pellet operating temperature, fuel rod heat transfer characteristics, dimensional stability, fission gas release and cladding strain. Current emphasis is on enhanced performance fuels

which are aimed at reducing the production or release of fission gases from the fuel pellets and/or reducing the operational temperature of the fuel by improving its thermal conductivity. An example of such a fuel type already tested by the HRP is a BeO additive fuel produced by the Ulba Metallurgical Plant in Kazakhstan. This fuel has been tested comparatively with several other fuel types produced by AREVA, and demonstrated to operate at ~30% lower temperature for the same power level. Lower fuel temperature provides a general increase in operational safety margins but in particular reduces the probability of fission gas release from the fuel pellets, which in turn reduces the inventory of radioactive fission products inside the fuel rod available for release to the reactor environment in the event of a fuel rod failure (cladding beach).



Six years of cooperation between Ulba Metallurgical Plant in Kazakhstan and the HRP has resulted in the demonstration of the enhanced in-reactor thermal performance of an innovative BeO additive urania fuel

- Separate effect tests where one phenomenon is studied directly such as irradiation induced fuel creep or rod overpressure induced cladding «lift-off». Such tests lead to a deeper level of knowledge and understanding of the complex and interconnected processes occurring in fuel rods and as such are ideal for aiding development of models of fuels behaviour, including those used in the latest 3D fuel performance codes
- Testing under transient conditions and accident scenarios in particular investigating the consequences of a Loss-of-Coolant-Accident (LOCA) for high burn-up fuel rods. LOCA testing at the HRP is aimed at establishing a knowledge base for safety assessments and to demonstrate performance of different fuels in accident situations. What has been found by implementing in-pile integral rod testing is that Zircaloy cladding balloons and bursts as it approaches about 800^0C and the high burn-up UO_2 fuel pellets inside the fuel rod fragment into a range of particle sizes, including in the micrometre range, which relocate to the ballooned region and are then expelled from the fuel rod. Such testing can lead to changes in safety criteria or their implementation, with much emphasis placed on limiting the radiological consequences of an accident even if it means restricting discharge burnup levels. Currently there is much focus on innovations within cladding design aimed at reducing the likelihood of cladding ballooning and burst, in other words development of Accident Tolerant Fuel.



Accident Tolerant Fuels are an innovation aimed at reducing the consequences of accidents in LWRs

- **Cladding performance tests** which measure properties and phenomena such as corrosion and hydriding. Current emphasis is on candidate cladding materials for Accident Tolerant Fuels, which aim not only to restrict ballooning and burst behaviour but also to avoid the hydrogen production associated with high temperature steam oxidation of Zr-based alloy claddings by replacing Zircaloy cladding with for example Fe-based alloys or SiC.
- **Irradiation assisted stress corrosion cracking (IASCC) tests** which generate data contributing to the mechanistic understanding of the phenomenon, allowing lifetime assessments for existing reactor core component materials and evaluation of the benefits of ageing countermeasures. Crack initiation and growth rates are measured in-situ and online in HRP tests while countermeasures such as changes in water chemistry are applied, enabling the effects of countermeasures to be detected immediately.
- **Irradiation enhanced creep and stress relaxation testing** to determine long-term performance of different materials used for reactor core internals as a function of irradiation and applied load. Such tests can lead to the introduction of novel materials for use in reactor component design.

Altogether some 30 Halden reactor based projects are in operation during a typical 3-year programme period of the HRP, all implemented with international cooperation and leading to safer and more efficient nuclear power.

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ НА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ДЕТРИТА НА ДИНАМИКУ ПРОЦЕССА ПСВ УРАНА

Полиновский К.Д.
Технопарк «Импульс», Москва, Россия

Подавляющее большинство пластово-инфильтрационных урановых месторождений сформированы на комплексных – восстановительно-сорбционных барьерах, причем основным восстановителем и концентратором урана и сопутствующих ценных элементов (Se, Re, Mo, V) является углефицированный растительный детрит (УРД) [1,2], представляющий собой рассеянные в песчанике обугленные растительные чешуйки, как правило, не превышающие 1 мм в поперечнике. В тех многочисленных случаях, когда редокс-барьер имеет смешанный (сероводородно-глеевый) характер, H_2S почти всегда является продуктом биохимического восстановления содержащихся в пластовых водах сульфат-ионов тем же УРД (т.н. реакция сульфатредукции) [3-5] – т.е. исходным восстановителем опять же является УРД. Таким образом, наличие УРД в пласте является обязательным условием для возникновения пластово-инфильтрационных урановых месторождений (по данным [5], для формирования кондиционного уранового оруденения требуется содержание в пласте не менее 0,05 % УРД в пересчете на органический углерод).

Примечательно при этом, что если механизм взаимодействия УРД с ураном, содержащимся в урановосных подземных водах, изучен весьма основательно [2, 6-12], то химические процессы, протекающие при этом в самом УРД, никем из геохимиков, специализирующихся по урану, специально не изучались, а влияние УРД на процесс ПСВ вообще изучено весьма слабо – в большинстве работ отмечается только, что УРД имеет высокую кислотоемкость [13,14], поэтому повышенное содержание его в пласте приводит к повышению расхода кислоты при сернокислотном ПСВ. На самом деле влияние УРД на процесс сернокислотного ПСВ весьма существенно, а именно: УРД активно восстанавливает содержащееся в ВР Fe^{3+} в Fe^{2+}, что приводит к резкому снижению окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и, как следствие, замедлению процесса ПСВ.

Более полувека назад показано, что в интервале pH от 1,0 до 3,0, который наиболее характерен для процесса ПСВ, наиболее эффективным индивидуальным окислителем является Fe^{3+}, а и комплексных – лишь те, в состав которых опять же входит Fe (см. рис. 1). При этом скорость растворения урановых минералов в сернокислотной среде в присутствии Fe в очень существенной степени зависит от значения ОВП, причем в интервале ОВП от 400 до 500 мВ наблюдается резкий скачок скорости выщелачивания (см. рис. 2). Значение ОВП, в свою очередь, напрямую связано с соотношением Fe^{3+}/Fe^{2+} в ВР: расчет показывает, что, что в данной среде значение ОВП = 400 мВ соответствует соотношению Fe^{3+}/Fe^{2+} = 0,065, а ОВП = 500 мВ – соотношению Fe^{3+}/Fe^{2+} = 3,15.

При сернокислотном ПСВ урана железо всегда в существенном количестве (0,5÷3 г/л и выше) выщелачивается из пласта, так что независимо от характера применяемого окислителя скорость процесса ПСВ определяется соотношением Fe^{3+}/Fe^{2+} в ПР. Специфика пластово-инфильтрационных урановых месторождений такова, что легко выщелачиваемые формы Fe^{2+} и Fe^{3+} присутствуют в них сопоставимых количествах. Однако, из-за восстановления Fe^{3+} УРД соотношение Fe^{3+}/Fe^{2+} резко снижается (как правило, до 0,01÷0,10), что приводит к резкому снижению ОВП и, как следствие, скорости выщелачивания урана.

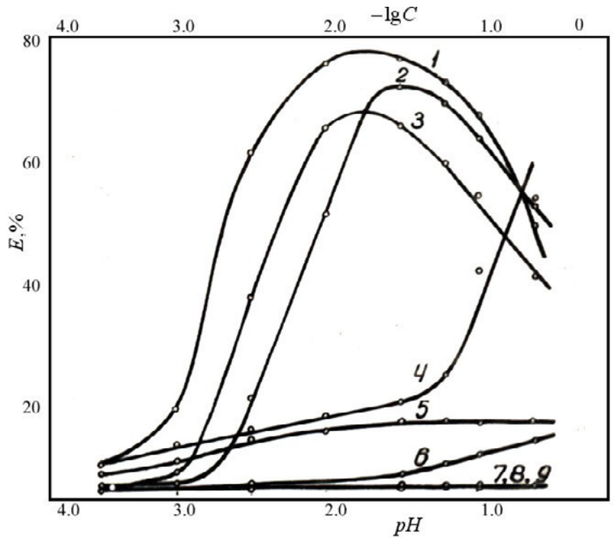


Рисунок 1. Зависимость эффективности различных окислителей при выщелачивании диоксида урана от pH ВР и присутствия в нем железа (по данным [15]).
Температура – 20⁰С, длительность процесса – 1 час:
1) $NaNO_2 + Fe^{2+}$; 4) $NaNO_2$; 7) $HNO_3 + Fe^{2+}$;
2) $Fe(SO_4)_3$; 5) MnO_2; 8) $KClO_3$;
3) $MnO_2 + Fe^{2+}$; 6) $KClO_3 + Fe^{2+}$; 9) HNO_3

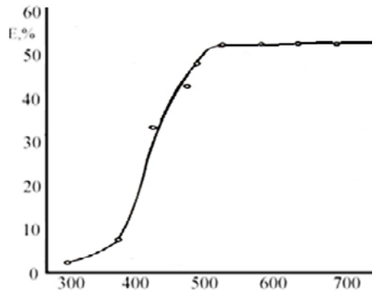


Рисунок 2. Зависимость степени растворения UO_2 от Eh (по данным [15]) (состав ВР – 25 г/л серной кислоты с добавкой 0,5 г/л железа, температура – 20⁰С, длительность процесса – 1 час)

Из опыта использования окислителей при ПСВ урана известно, что на окисление собственно урана расходуется лишь от 2 до 5% от содержащихся в пласте окислителей, а остальная часть расходуется на окисление содержащихся в пласте восстановителей – УРД, сульфидов, хлоритов и сидерита. Однако, Fe^{3+} не окисляет хлориты, сидерит и пирит FeS_2, на долю которого обычно приходится более 90% содержащихся в пласте сульфидов. Таким образом, при сернокислотном ПСВ урана не менее 90÷95% расхода окислителя приходится на окисление УРД.

Большой интерес представляет исследование [16], посвященное вопросам взаимодействия УРД с Fe^{3+} в сернокислотном растворе. УРД Далматовского месторождения (Курганская обл. РФ) в течение 85 суток взаимодействовал с растворами, содержащими Fe^{3+} и Fe^{2+} в различных соотношениях, при Ж : Т = 250 и содержании серной кислоты 5÷20 г/л. Результаты приведены в таблице и на рисунке 3.

Таблица 3. Зависимость восстановительной емкости УРД Далматовского месторождения от ОВП среды (по данным [16])

№ п/п	Кислотность ВР, г/л H_2SO_4	ВР			ПР			ОВП ПР, мВ	Расход Fe^{3+} на 1 кг УРД	
		Fe^{3+}, г/л	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}/Fe^{2+}	Fe^{3+}, г/л	Fe^{2+}, г/л	Fe^{3+}/Fe^{2+}		г	Моль
1	5	0,25	0,75	0.3333	0,01	0,99	0,010	355	60	1,07
	10				0	1,00	0	294	62,5	1,11
	20				0,04	0,96	0,042	389	52,5	0,94
2	5	0,5	0,5	1,0	0,07	0,93	0,075	407	107,5	1,92
	10				0,09	0,91	0,099	412	102,5	1,84
	20				0,07	0,93	0,075	404	107,5	1,92
3	5	1	0	→ ∞	0,225	0,775	0,290	441	193,75	3,47
	10				0,26	0,74	0,351	445	185	3,31
	20				0,285	0,715	0,399	447	178,75	3,20
4	5	2	0	→ ∞	1,05	0,95	1,11	476	237,5	4,25
	10				1,12	0,88	1,27	478	220	3,94
	20				1,15	0,85	1,35	478	212,5	3,81
5	5	5	0	→ ∞	3,42	1,58	2,16	493	395	7,07
	10				3,53	1,47	2,40	494	367,5	6,58
	20				3,65	1,35	2,70	496	337,5	6,04
6	5	10	0	→ ∞	8,14	1,86	4,38	511	465	8,33
	10				8,12	1,88	4,32	509	470	8,42
	20				8,21	1,79	4,59	510	447,5	8,01

К сожалению, авторы [16] неправильно интерпретировали результаты своего исследования из-за недостаточно глубокого знакомства с химией ароматических соединений – они сделали вывод, что на восстановительную емкость влияет концентрация Fe^{3+} в ВР как таковая, и что для получения достаточно высокой остаточной концентрации Fe^{3+} в ПР необходимо поддерживать его концентрацию в ВР не менее 2 г/л. Нижеприведенный анализ механизма взаимодействия УРД с Fe^{3+} приводит к однозначному выводу, что восстановительная емкость УРД зависела не от концентрации Fe^{3+} в ВР, а от ОВП, значение которого определяется соотношением Fe^{3+}/Fe^{2+} в ПР.

Процесс углефикации растительного детрита подчиняется тем же закономерностям, что и для другого растительного сырья, так что в песчаниках, расположенных на глубине до 1 000 м, по химическому составу УРД представляет собой бурый уголь [17], который является конечным продуктом разложения растительных остатков на малой глубине – в каменный уголь он метаморфизуется только при высоких температуре и/или давлении – т.е. на больших глубинах либо в зоне вулканизма (в последнем случае возможно образование антрацита и даже графита [18].

Наиболее активными восстановителями в составе УРД являются т.н. фульвеновые кислоты (ФК), которые представляют собой ароматические соединения сложного состава. Высокие восстановительные свойства ФК объясняются тем, что они содержат в своем составе большое количество карбоксильных (–COOH) и гидроксильных (–OH) функциональных групп. Основной структурной составляющей (мономерным звеном) является т.н. фенилпропановая единица (ФПЕ) со структурой C_6-C_3, поэтому гидроксилы в ней могут иметь разный характер – если замещение происходит в бензольном кольце,

образуются фенольные гидроксилы, если в пропановом «хвосте» – спиртовые гидроксилы [19].

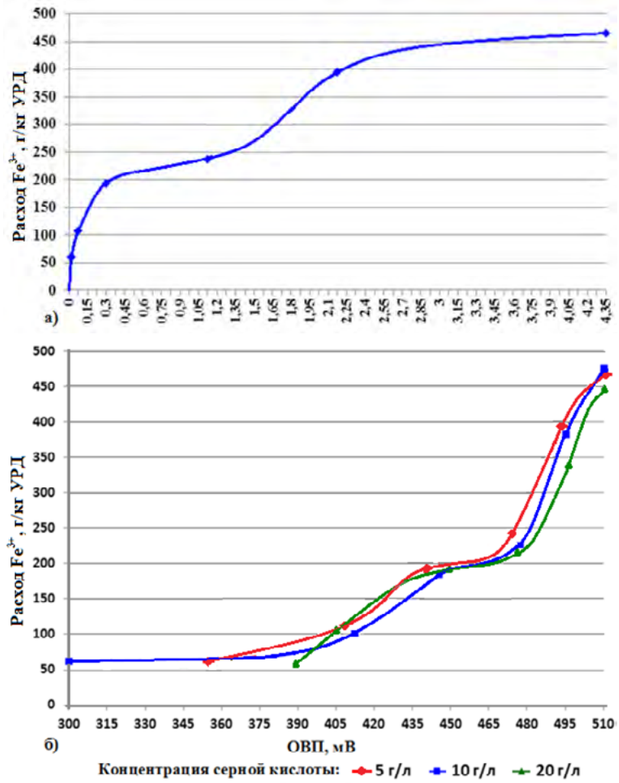


Рисунок 3. Зависимость восстановительной емкости УРД Далматовского месторождения от соотношения Fe^{3+}/Fe^{2+} в ПР (а) и ОВП ПР (б) (по данным [16])

Объясняется это тем, что накопление урана на ГК и ФК происходит в две стадии: на первой (протекающей практически мгновенно) уранил-ионы сорбируются на карбоксилах, а на второй (протекающей в течение нескольких месяцев) происходит внутрикомплексное восстановление U^{6+} до U^{4+} фенольными гидроксилами, которые при этом окисляются в хиноидные группы =O. Немаловажно, что восстанавливается при этом только уран, сорбированный на ФК, но не остающийся в растворе) [11].

С Fe^{3+} ФК реагируют по аналогичному механизму – ионы Fe^{3+} сорбируются на карбоксилах, а затем восстанавливаются фенольными гидроксилами в Fe^{2+}. Однако миграционные свойства урана и железа при этом меняются в противоположных направлениях: U^{4+} остается в составе ФК и постепенно изолируется в виде микроскопических кристаллов настурана, тогда как Fe^{2+}, в отличие от Fe^{3+}, не образует с ФК прочных комплексов [12], вследствие чего легко десорбируется в ПР.

Тот факт, что восстановительная емкость УРД в существенной степени зависит от ОВП, объясняется следующим: значение ОВП, при котором происходит окислением фенольных групп в хинонные, зависит от целого ряда факторов и может колебаться в достаточно широких пределах. Так, для дигидроксибензолов значение $ОВП^0$ окисления в хиноны зависит от их изомерной формы и составляет от 660 мВ (1,3-дигидроксибензол в

резорцин) до 783 мВ (1,3-дигидроксибензол в пирокатехин) [20], что достаточно близко к ОВП0 перехода Fe^{2+}/Fe^{3+} (771 мВ). Для ФК интервал значений ОВП окисления фенольных гидроксилов еще шире, т.к. в структуре его ароматического ядра присутствуют различные заместители, одни из которых повышают ОВП (например, карбоксилы), а другие – понижают (например, метоксилы) [21]. Соответственно, при низких значениях ОВП окисляется лишь та часть фенольных групп ФК, которая находится в наиболее легкоокисляемом положении, а при более высоких значениях ОВП начинают окисляться и те фенольные группы ФК, которые находится в более трудноокисляемом положении.

По данным [19], при сорбции Fe^{3+} на ФК каждая карбоксильная группа связывает один атом Fe (вероятно, в виде гидроксокомплекса $Fe(OH)^{2+}$). Известно, что ФК содержит 6,1÷8,5 (в среднем 8,2) г×экв/кг карбоксилов, 2,8÷5,7 (в среднем 3,0) г×экв/кг фенольных гидроксилов и 3,4÷6,4 (в среднем 6,1) г×экв/кг спиртовых гидроксилов [19], причем гидроксилы способны восстанавливать только Fe^{3+}, связанное в комплекс с карбоксилами, но не остающееся в растворе [11]. Сопоставляя эту информацию с данным таблицы, можно сделать следующие выводы:

— Далматовский УРД содержит не менее 8,42 г×экв/кг карбоксилов, что близко к верхнему пределу для ФК.
— Судя по резкому перегибу на графике (рис. 3б), в интервале ОВП от 300 до 441÷447 мВ, Fe^{3+} восстанавливается фенольными гидроксилами (содержание которых в ФК составляет 3,20÷3,47 г×экв/кг), а при более высоких значениях ОВП (476÷511 мВ) – также и спиртовыми гидроксилами (которые при этом, вероятно, окисляются в карбонилы >C=O), причем восстановительная емкость для обоих видов гидроксильных групп существенно зависит от значения ОВП среды.

С точки зрения интенсификации процесса ПСВ, наиболее целесообразно полностью окислить содержащийся в пласте УРД еще на стадии закисления, когда содержание железа в ВР близко к нулю. Однако анализ литературных данных показывает, что расход окислителя в этом случае окажется более чем на порядок выше, чем на регенерацию Fe^{3+} [22,23]. Проведенный автором теоретический расчет показывает, что если окисление УРД с составом, соответствующим усредненному бурому углю (75% C, 5% H, 20% O), ведется до салициловой уксусной кислот, расход окислителя (в пересчете на кислород) составит 25 г×экв/кг, но при полном окислении (до углекислоты) он возрастает на порядок – до 275 г×экв/кг. При этом практика искусственного окисления бурых углей показывает, что продуктом окисления всегда бывает не индивидуальное вещество, а их смесь, причем даже при использовании самых «мягких» окислителей (озона и перманганата калия) на долю углекислоты приходится 30-50% от общего количества продуктов – как следствие, расход окислителя составляет от 84÷120 г×экв/кг [22,23]. Поэтому полное окисление содержащегося в пласте УРД будет экономически целесообразным лишь при использовании очень дешевых окислителей (например, при закачке непосредственно в пласт воздуха, обогащенного кислородом).

Альтернативный вариант – добавление в ВР на стадии закисления реагентов, замещающих гидроксильные группы УРД на какие-либо иные, не обладающие восстановительными свойствами. Например, по данным [11], при этерификации целлюлозы уксусной кислотой или ее ангидридом происходит замена гидроксильных групп на ацетильные ($–OCOCH_3$), в результате чего ее сорбционная емкость по урану снижается на порядок. В случае невозможности предварительного окисления УРД рекомендуется с целью экономии окислителя при регенерации Fe^{3+} в оборотных растворах проводить регенерацию

не полностью – рекомендуется обеспечить в оборотных ВР значение ОВП на уровне 480 мВ (что при обычной для ВР ПСВ кислотности 5÷10 г/л соответствует соотношению Fe^{3+}/Fe^{2+} = 1,0÷1,4), поскольку для обеспечения высокой скорости выщелачивания урановых минералов данный уровень ОВП достаточен, а при его превышении резко расчет восстановительная емкость УРД.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Евсеева Л.С.*** Окислительно-восстановительные свойства осадочных пород. – М.: Атомиздат , 1965 – 68 с.
2. ***Афанасьев Г.В., Миронов Ю.Б., Пинский Э.М.*** Новые аспекты формирования урановых месторождений песчаникового типа // Региональная геология и металлогения, № 59, 2014, 89-96 с.
3. ***Федоров М.В.*** Почвенная микробиология М., Советская наука, 1954 – 484 с.
4. ***Каравайко Г.И.*** Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд, М.: Наука, 1972. – 248 с.
5. ***Лаверов Н.П., Абдульманов И.Г., Бровин К.Г. и др.*** Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Под ред. Н.П. Лаверова. М.: Изд. Академии горных наук, 1998. – 446 с.
6. ***Манская С.М., Кодина Л.А.*** Геохимия лигнина. – М.: Наука, 1975. – 232 с.
7. ***Манская С.М., Дроздова Т.В.*** Геохимия органического вещества. – М., АН СССР, 1964. – 316 с.
8. ***Евсеева Л.С., Перельман А.И.*** Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.: Атомиздат, 1962. – 240 с.
9. ***Евсеева Л.С.*** Восстановление урана природными органическими веществами // в кн. «Химия урана» (ред. Ласкорин Б.Н.) М.: Наука, 1983 – 52-57 с.
10. ***Андреев П.Ф. и др.*** Взаимодействие солей уранила с компонентами растительной ткани и их некоторыми производными // Геохимия, 1962, №4, 313-317 с.
11. ***Андреев П.Ф. и др.*** О процессах восстановления урана на природных органических соединениях// Геохимия, 1964, №1, 16-22 с.
12. ***Салаи А.*** Роль гумусовых кислот в геохимии урана и их возможная роль в геохимии других катионов // тр. геохим. конф. «Химия земной коры», посвященной столетию со дня рождения В.И. Вернадского. – М.: Наука, 1964. т.2. 428-442 с.
13. ***Салтыков А.С.*** Влияние вещественного состава руд и пород на величину удельного расхода реагента при подземном выщелачивании растворами серной кислоты (на примере урановых руд месторождения Моинкум): дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ВНИИХТ, 1989 г. – 231 с.
14. ***Язиков В.Г., Рогов Е.И., Забазнов В.Л., Рогов А.Е.*** Геотехнология металлов. Монография, Алматы, 2005. – 392 с.
15. ***Каневский Е.А., Филиппов А.П., Якубович И.А., Невский О.Б.*** Выщелачивание при пневматическом перемешивании альбититовой руды Желтореченского месторождения с применением в качестве окислителей пиролюзита и нитрозы. НИИ-10, инв.№ 6357 (1961).
16. ***Смирнов А.Л., Рычков В.Н., Клюшников А.М.*** Поведение сопутствующих веществ при выщелачивании урана из руд с использованием окислителя // VI Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы урановой промышленности». — Алматы: НАК «Казатомпром», 2010 г., 152-157 с.
17. ***Юдович Я.Э.*** Грамм дороже тонны. Редкие элементы в углях. – М.: Наука, 1989. – 160 с.

18. ***Забрамный Д.Т.*** Об эволюции гумусовых углей при метаморфизме / сб. «Генезис твердых горючих ископаемых», М., 1959, 189-197 с.
19. ***Орлов Д.С.*** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
20. ***Эфрос Л.С., Горелик М.В.*** Химия и технология промежуточных продуктов. - Л.: Химия, 1979. – 544 с.
21. ***Менковский М.А., Яворский В.Т.*** Технология серы. - М.: Химия, 1985. – 327 с.
22. ***Кухаренко Т.А.*** Окисленные в пластах бурые и каменные угли. – М.: Недра, 1972. – 215 с.
23. ***Бенько Е.М. и др.*** Кинетика окисления лигнина озоном в водных растворах // Журнал физической химии, 1994, №9 (т.68), 1580-1583 с.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНВЕРСИИ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ ДОБЫЧЕ УРАНА

[1]Дуйсебаев Б.О., [1]Байтасов К.М., [1]Ужкенов Б.С., [2]Сабденов К.О.
[1]АО «Волковгеология», Алматы, Казахстан
[2]СКГУ им.М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан

Ключевые слова

Добыча урана, альтернативная энергетика, геотермальная энергетика, тепловые насосы, ядерные технологии, квазиприродный атомный реактор

АННОТАЦИЯ

Предлагается новый способ производства электроэнергии из находящихся в обороте продуктивных растворов (ПР) на основе использования теплообменника с циркулирующим в контуре цис-бутеном-2 и низкотемпературной турбины с низкой температурой кипения рабочего тела. Рудники, где ПР имеют повышенную температуру и достаточно большой массовый расход, могут самостоятельно снабжать себя электроэнергией. Предложена концепция квазиприродного ядерного реактора как экономичной альтернативы традиционным ядерным технологиям.

Республика Казахстан является крупным игроком на мировом рынке энергоресурсов. Однако, руководство страны, осознавая важность углеводородной энергетики, значительное внимание уделяет развитию альтернативной энергетики и энергосбережению. В стране созданы условия для эффективной реализации новых направлений энергетики, стимулирующими факторами для которых стали: принятие государственной программы энергосбережения и Закона РК «О поддержке использования возобновляемых источников энергии», а также подписание и ратификация Казахстаном Киотского протокола.

АО «НАК «Казатомпром» занял лидирующие позиции в мире по технологии подземного скважинного выщелачивания урана (ПСВ). Хорошо известны экономические, технические и экологические преимущества данного метода по сравнению с традиционными шахтной и карьерной добычей. В данном же докладе мы хотели бы акцентировать внимание на еще одном аспекте – энергоэффективности ПСВ.

На рисунке 1 показано, какие потоки энергии должны подаваться в шахту, карьер или рудник ПСВ на 1 т руды.

Рис.1. Энергозатраты при разных способах добычи металлов, кВт×час/труды

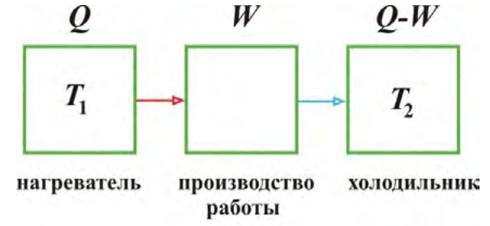
Мы видим, что рудник ПСВ не только потребляет энергии меньше, чем шахта или карьер, но может даже стать источником энергии, то есть создать обратный выходной поток энергии. Это обусловлено аномальными свойствами воды – а именно- ее наивысшей среди жидкостей теплоемкостью. На этом свойстве построены промышленные энергетические системы, в том числе и экологически чистая геотермальная энергетика.

Геотермальная энергетика — направление энергетики, основанное на производстве тепловой и электрической энергии за счёт энергии, содержащейся в недрах земли, на геотермальных станциях. Этот же подход возможно применить при производстве электроэнергии из находящихся в обороте продуктивных растворов (ПР) на основе использования теплообменника с циркулирующим в контуре низкокипящим рабочим телом (например, фреоном, аммиаком, угликислотой, цис-бутеном-2) и низкотемпературной турбины.

Рудники, где ПР имеют повышенную температуру и достаточно большой массовый расход, могут самостоятельно снабжать себя электроэнергией, частично или полностью покрывая поступления от внешних электросетей. В отличие от традиционных схем производства электроэнергии, в предложенном способе отсутствуют затраты на первичное сжигаемое топливо – основного дорогостоящего компонента получаемой энергии. Главным достоинством данной технологии является её практическая неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года.

Изложим фундаментальную основу.

Как известно, любое производство полезной механической или электрической энергии опирается на следующие фундаментальные положения термодинамики [1,2]: должны быть два устройства – нагреватель с температурой T_1 и охладитель с температурой T_2, причем обязательно необходимо выполнение неравенства $T_1>T_2$ (рис. 2). В качестве охладителя, как правило, выступает окружающая среда с температурой T_2. Нагреватель может быть создан искусственным (топочные устройства, камеры сгорания, ядерные реакторы и т.д.) или естественным путем (геотермальные источники, солнечное излучение, ветер, водные потоки и пр.). Отсюда следует, что для выработки полезной энергии достаточно иметь любые две среды (системы) с различающимися температурами.



$$\eta = \frac{W}{Q} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Рис. 2. Общие фундаментальные принципы производства полезной работы W из тепла Q. В окружающую среду выбрасывается тепло (Q – W) , η - коэффициент полезного действия

На рудниках АО «НАК «Казатомпром» подземное выщелачивание урансодержащих пород сопровождается возникновением больших потоков нагретых масс жидкостей (про-

дуктивные растворы, ПР), их температура доходит до 37-40^{0}С и причиной нагрева является внутреннее тепло Земли. Если удастся реализовать термодинамический процесс, в котором внутренняя энергия нагретых масс ПР превращается в механическую работу с охлаждением ПР на 10-20^{0}С, то можно было бы далее вырабатывать электроэнергию, достаточную для автономной работы рудников и(или) существенного снижения расходов на покупку электроэнергии от внешних поставщиков. Для этого на рудниках можно установить низкотемпературную турбину (рис. 3). Для ее работы предлагается использовать жидкость цис-Бутен-2 (одна из фракций нефти с химической формулой C_4H_8), она подогревается и превращается в пар тем теплом, которое поступает в систему от ПР из скважин. Коэффициент полезного действия рассчитывается как для обычного цикла Ренкина [1,2].

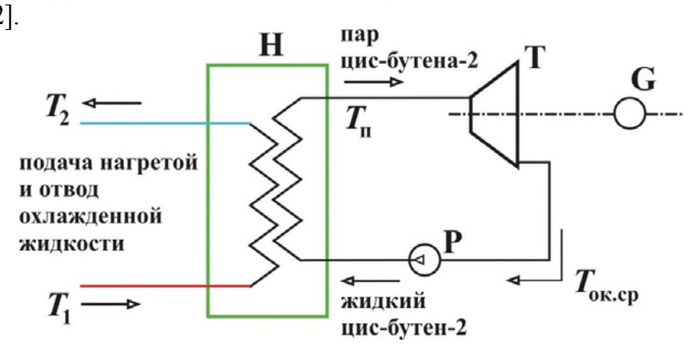


Рис. 3. Схема производства энергии:
H – Теплообменник и одновременно парогенератор;
T – низкотемпературная турбина,
G – генератор электрического тока.
Газообразный цис-бутен-2 выходит из парогенератора при температуре Tп ≈ T1 ≈ 40^{0}С и давлении ≈3 атм., в результате совершения работы в турбине конденсируется при температуре окружающей среды Ток.ср.
Далее насосом P снова возвращается в теплообменник

Реалистичное значение КПД, с учетом возможных потерь энергии на промежуточных этапах преобразования механической работы в энергию, оценивается нами как $\eta_t = 0.1$ (наивысший цикл Карно дает $\eta_t = 0.12$). Максимальное давление в турбине p_{max} равно давлению насыщения цис-Бутен-2 при температуре 40^{0}С, согласно данным [3] оно равно $p_{max} = 3.37$ бар.

Выходящие из скважин ПР в основном состоят из воды, поэтому их теплоемкость можно полагать близкой к теплоемкости воды c = 4 200 Дж/(кг×К). Поток ПР с расходом примерно $m^t = 800$ кг/с (в среднем на одном руднике) несет в единицу времени избыточную тепловую энергию $Q = cm^t\Delta T = 101$ МВт, где $\Delta T = 30^0$С - разность температуры ПР и среднегодовой температуры окружающей среды. При этом мощность на валу турбины W_t составит примерно $W_t = \eta_t Q = 10.5$ МВт. Практически такая же мощность будет и у электрического генератора G ввиду относительной малости потерь энергии при преобразовании механической работы в электрическую энергию.

Применение технологий тепловых насосов в мире в настоящее время расширяется быстрыми темпами [3].

Расчет потенциала энергосбережения для рудников подземного выщелачивания можно представить в следующем виде.

Можно принять, что скважина 400 м дает 20 кВт тепловой мощности, 500 таких скважин – 10 МВт. Если всего на рудниках имеется ≈ 5 000 скважин – потенциал энергосбережения - 500 МВт, что в 6 раз превышает объем покупаемой извне электроэнергии. При конверсии этого тепла в электричество с КПД 10%, полученная мощность 50 МВт составит более 60% от покупаемых на рынке 80 МВт. Объем электроэнергии годовой 50 × 8 000 = 400 000 МВт×час, что соответствует выручке 40 млн.$ (при цене ≈ 1 кВт×ч в 10 центов). Это сравнимо с доходом рудников от добычи урана.

Рассчитаем чистую долю энергии природного урана при текущих соотношениях в ядерной энергетике.

1 000 МВт реактор - нужно 90 т НОУ, или 738 т природного урана
1 000 т урана природного - 1 355 МВт из реактора
Поправка на долю топлива в цикле 1 355 / 5 = 271 МВт
Поправка на долю урана в топливе 271 × 0,3 = 81 МВт
Поправка на степень выгорания U^{235} в реакторе:
81 × 0, 3 = 24 МВт или около 70 МВт тепловой (!), то есть из тепла продуктивных растворов уранового рудника можно получить через тепловые устройства имашины (тепловые насосы) столько же или больше энергии, сколько из урана получают энергетики с применением полного ядерно-топливного цикла через строительство атомной станции и многочисленных других предприятий ядерно-топливного цикла!

Кроме тепла ПР, АО НАК «Казатомпром» развивает идею квазиприродного ядерного реактора типа Окло, в качестве одного из перспективных направлений деятельности кампании и весьма экономичной альтернативы традиционным ядерным технологиям. Проект был включен в совместный план работ с бельгийским ядерным центром SCK/CEN. По мнению ознакомившихся с идеей авторитетных российских экспертов, возможность реализации слабо подкритического реактора на обогащенном уране в присутствии замедлителя (вода, графит или др.) и относительно маломощных внешних нейтронных источников не вызывает сомнений и этот вариант, предложенный казахстанскими учеными, наиболее близок к природному варианту ядерного реактора.

Как известно, природный ядерный реактор в Окло — это несколько рудных тел в урановом месторождении Окло в Габоне, в которых около 1,8 млрд. лет назад происходила самопроизвольная цепная реакция деления ядер урана. В настоящее время реакция прекратилась из-за истощения запасов изотопа ^{235}U подходящей концентрации.

Рудные тела, в которых происходила цепная реакция, представляют собой залегающие в пористом песчанике линзовидные образования из уранинита (UO_2) диаметром порядка 10 м и толщиной от 20 до 90 см; содержание урана в них составляло от 20 до 80% (по массе). Идентифицированы 16 индивидуальных реакторов в трёх различных частях месторождения: в Окло, в Окелобондо (Okelobondo, 1,6 км от Окло) и в Бангомбе (Bangombe, 20 км к югу от Окло). Все 16 рудных тел объединяют под общим названием «Природный ядерный реактор Окло».

Окло — единственный известный на Земле естественный ядерный реактор. Цепная реакция началась здесь около 2 млрд. лет назад и продолжалась в течение нескольких сотен тысяч лет. Средняя тепловая мощность реактора составляла около 100 кВт [5]. Месторождение Окло с концентрацией урана около 0,5% в осадочном слое толщиной 4-10 м и

площадью 600 × 900 м^2 образовалось 2,1 × 109 лет назад. Под действием фильтрационных вод под большим давлением образовывались линзы со сверхбогатым содержанием урана (до 20-60% в руде) размером 10-20 м и толщиной ~1 м. На расстоянии десятков метров было обнаружено шесть очагов реакции. Всего найдены остатки 17 активных зон [6]. Возраст реактора составляет 1,8 млрд лет. Общее количество выработанной реактором энергии оценивается 1,5 × 104 МВт × год [7]. Два блока Ленинградской АЭС при 100%-ной загрузке вырабатывают столько энергии за 2,3 года. Средняя мощность природного реактора составляла 25 кВт. Обогащение по U^{235} 1,8 млрд. лет назад достигло 3,1%. Уран такого уровня обогащения используется сегодня в легководных реакторах мира. Поскольку отношение ядер U/H примерно одинаково и размеры реакторов сопоставимы, можно сразу без расчетов сказать, что цепная реакция в Окло была возможна [8].

Вариантом квазиприродного ядерного реактора может выступить технология гомогенного яерного реактора — ядерный реактор, активная зона которого представляет собой гомогенную смесь ядерного горючего с замедлителем [9]. Основное отличие гомогенного реактора от гетерогенного — отсутствие тепловыделяющих элементов; ядерное горючее находится в активной зоне реактора в виде гомогенной смеси, к которым относятся растворы солей урана, суспензии окислов урана в лёгкой и тяжёлой воде, твёрдый замедлитель, пропитанный ураном, расплавленные соли. Известны варианты гомогенных реакторов с газообразным горючим (газообразные соединения урана) или взвесью урановой пыли в газе.

Тепло, выделяемое в активной зоне, отводится теплоносителем (водой, газом и т.д.), движущимся по трубам через активную зону, либо смесь горючего с замедлителем сама служит теплоносителем, циркулирующим через теплообменники [10].

Гомогенные реакторы не нашли широкого применения вследствие высокой коррозии конструкционных материалов в жидком топливе, сложности конструкции реакторов на твёрдых гомогенных смесях, больших загрузок слабообогащённого уранового топлива и других причин. Однако, совмещение концепций квазиприродного ядерного реактора и технологических заделов гомогенных реакторов позволяет избежать данных проблем, так как:

1. Имеется возможность заменить слабообогащеный уран на уран с более высоким обогащением по изотопу U^{235};
2. Конструкция реактора может принять простую и технологическую форму (см. рис 4).

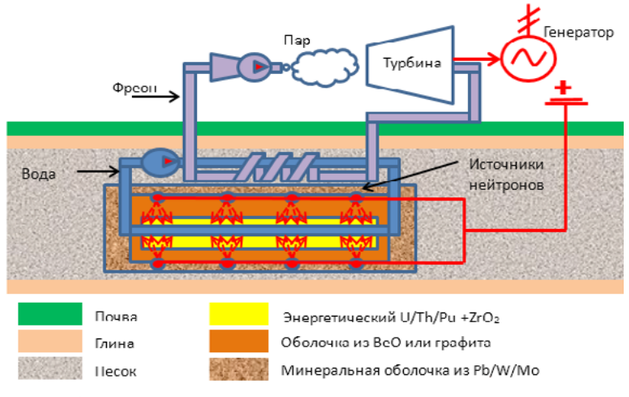


Рис. 4. Концептуальная схема квазиприродного ядерного реактора

На стадии предварительных концептуальных исследований видятся следующие предстоящие научно-технические задачи:

— Проведение вариантных физических расчетов характеристик активной зоны в подкритическом состоянии (выгорание, изменение реактивности, динамика энерговыделения и т.д.) для различных комбинаций ядерного топлива.
— Проведение вариантных теплофизических расчетов для различных комбинаций ядерного топлива и определение параметров теплотехнической схемы.
— Выбор теплоносителя и конструкционных материалов с учетом коррозионных процессов.
— Изучение возможностей физического контроля состояния активной зоны.
— Выбор места размещения реактора и формулировка экологических проблем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

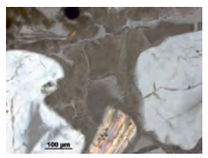
1. ***Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. и др.*** Теплотехника. – Москва: Энергоатомиздат, 1991.
2. ***Бэр Г.Д.*** Техническая термодинамика. – Москва: Мир, 1977.
3. ***Варгафтик Н.Б.*** Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов. – Москва: Наука, 1972.
4. ***Васильев Г.П.*** Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв Земли (Монография). Издательский дом «Граница». М., «Красная звезда» - 2006.
5. ***Gauthier-Lafaye, F.; Holliger, P.; Blanc, P.-L.*** (1996). «Natural fission reactors in the Franceville Basin, Gabon: a review of the conditions and results of a «critical event» in a geologic system». Geochimica et Cosmochimica Acta 60 (25): 4831–4852.
6. ***Maeck W., Spraktes F., Tromp R., Keller J.*** Analytical results, recommended nuclear constants and suggested correlations for the evaluation of Oklo fission-product data. — Ibid., p. 319-339.
7. ***Naudet R., Renson C.*** Results of systematic determinations of the isotopic composition of the uranium. — Ibid., p. 265-291.
8. ***Петров Ю.В.*** Естественный ядерный реактор Окло. — Успехи физ. наук, 1977, т. 123, 477-486 с.
9. ***Левин В.Е.*** Ядерная физика и ядерные реакторы. 4-е изд. — М.: Атомиздат, 1979.
10. ***Блинкин В.Л., Новиков В.М.*** Жидкосолевые ядерные реакторы. — М.: Атомиздат, 1978.

CHEMISTRY, MINERALOGY AND PETROGRAPHY OF RESERVOIR CLOGGING PRODUCTS

[1]Le Beux A., [1] Schmitt J.-M., [2] Lagneau V., [3]Fiet N.
[1]AREVA Mines, Paris La Défense, France
[2]MINES ParisTech, PSL University, Fontainebleau, France
[3]KATCO, Almaty, Kazakhstan

Chemistry, mineralogy and petrography of reservoir clogging products

A. Le Beux[1], J.-M. Schmitt[1], V. Lagneau[2] and N. Fiet[3]
[1] AREVA Mines, Paris La Défense, France
[2] MINES ParisTech, PSL University, Fontainebleau, France
[3] KATCO, Almaty, Kazakhstan

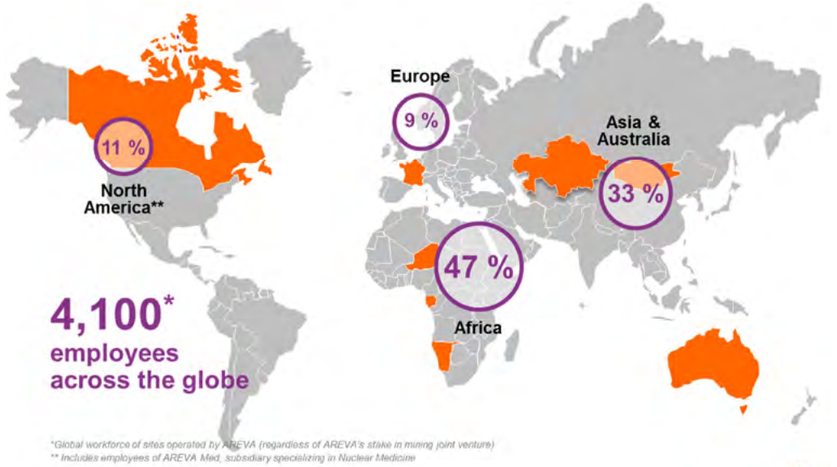


VIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE «CONTEMPORARY ISSUES OF URANIUM INDUSTRY»
Astana, 3-5 August 2017

AREVA
l'avenir pour énergie

BUSINESS GROUP

AREVA MINES
Present on 5 continents



BUSINESS GROUP MINES

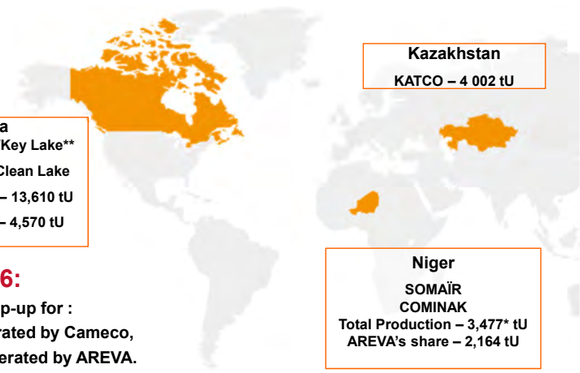
Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

AREVA
l'avenir pour énergie

AREVA MINES
Today's operating Mines

11,185* tU in 2016

Diversified production: 3 countries with 5 mines in operation



Canada
McArthur River**/Key Lake**
Cigar Lake**/McClean Lake
Total production – 13,610 tU
AREVA's share – 4,570 tU

Kazakhstan
KATCO – 4 002 tU

Niger
SOMAÏR
COMINAK
Total Production – 3,477* tU
AREVA's share – 2,164 tU

In 2016:

Successful ramp-up for :
- Cigar Lake mine, operated by Cameco,
- McClean Lake mill, operated by AREVA.

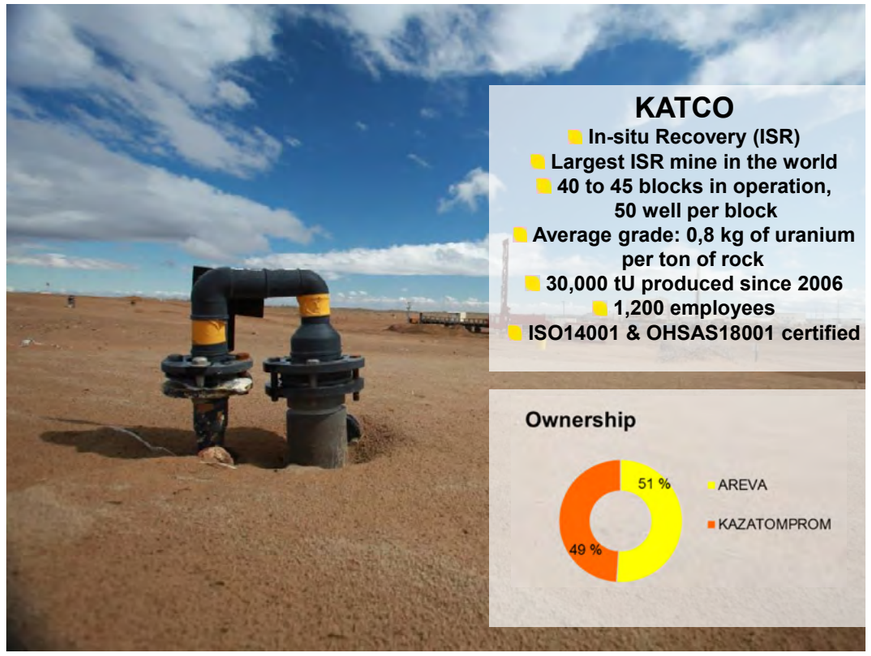
*Financially consolidated AREVA share to which should be added 510 tons of Uranium corresponding to the AREVA's share in COMINAK. Due to the changes in the accounting standards, COMINAK has no longer been financially consolidated since the beginning of 2014.

**Operated by CAMECO

BUSINESS GROUP MINES

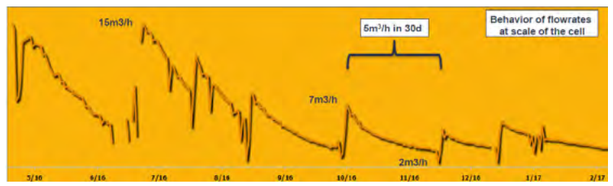
Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

AREVA
l'avenir pour énergie



Reservoir clogging studies
Context and Objectives

- Context : Uranium production performance relies on wells efficiency.



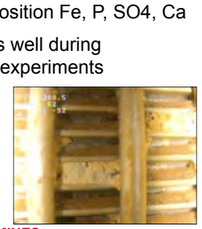
- Objectives :
  - Identify clogging phases responsible for flow rate decrease.
  - Understand their mechanism of precipitation.
  - Provide solutions to avoid or treat clogging phases

Reservoir clogging studies
Research Program

- Collaboration between AREVA and KAZATOMPROM (2013-2016)
  - REX and early observations
  - Protocols for laboratory and site investigations
- Laboratory studies in AREVA-SEPA and University of Lyon
- Reactive transport modeling with School of Mines in Paris
- Conclusions and pending questions

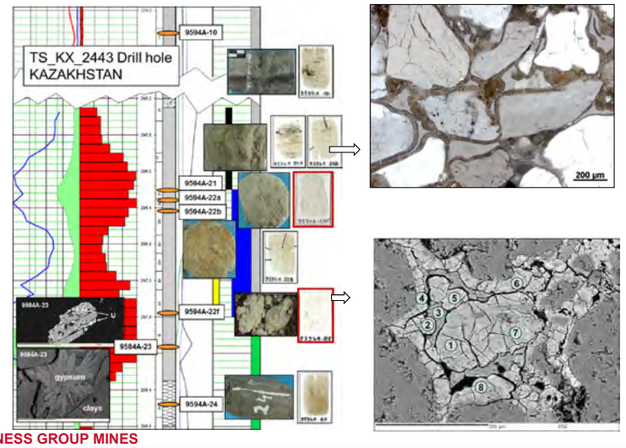
Reservoir clogging products
REX and early observations

- Observed on technological equipment (pumps, filters, a.s.o.)
  - Two major kinds of precipitates
  - Mainly amorphous products
  - Whitish precipitates
    - Composition Al, Si, SO4, Ca
  - Yellow to red & brown products
    - Composition Fe, P, SO4, Ca
  - Observed as well during column test experiments



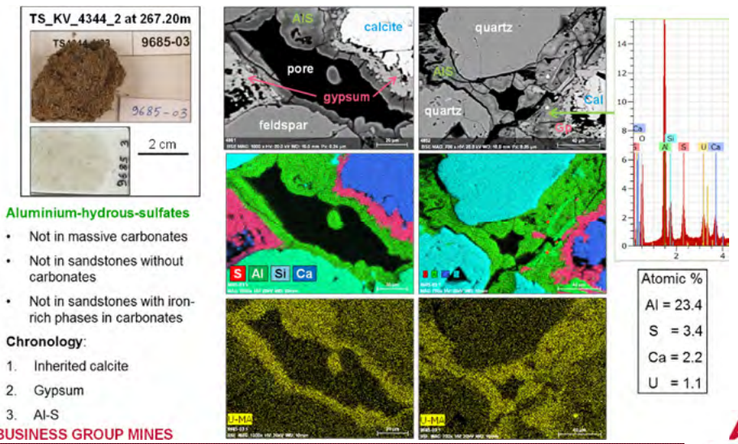
Reservoir clogging products
REX and early observations

- TKD leached zone in 2012



Reservoir clogging products
REX and early observations

- TKD leached zone in 2016 - *Medium grained sandstone with local carbonate "spots"*



Aluminium-hydrous-sulfates

- Not in massive carbonates
- Not in sandstones without carbonates
- Not in sandstones with iron-rich phases in carbonates

Chronology:

1. Inherited calcite
2. Gypsum
3. Al-S

Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

AREVA
l'avenir pour énergie

Reservoir clogging products
REX and early observations

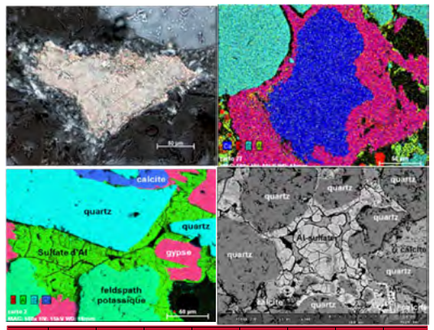
- Observed on core samples in leached zones
  - Location of highly clogged samples
    - Discrete samples/horizons
    - Vicinity of production wells
    - Similar products found as well scaling
  - Nature of products
    - Similar to 'whitish precipitate'
    - Gypsum generally present
    - 'aluminite' , or mixed Al hydroxydes and Al hydroxysulfates as main clogging product
  - Composition of products
    - ~ 12% SO4, 25 -30% Al, and water
    - Also containing uranium (1,5 à 4,5%)

Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

AREVA
l'avenir pour énergie

Reservoir clogging products
REX and early observations

- Core samples in leached zones
  - Few kinds of precipitates
    - Gypsum (crystallized)
    - Al and SO4 bearing products (amorphous/gel-like products)
  - Intensity of clogging
    - Generally weak, with porosity preserved
    - Locally very intense with porosity
    - clogged by Al-sulfate products



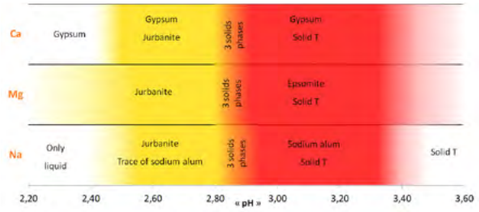
Pts n°(*)	Al % masse	Si % masse	S % masse	Ca % masse	U % masse	Fe % masse	O % masse	Total
9	22.75	0.30	3.79	0.55	4.47	0.20	27.17	59.27
7	26.87	0.79	3.91	0.72	3.78	0.87	32.03	69.18
8	29.65	0.48	3.86	0.77	1.45	0.22	33.34	69.88
2	30.70	0.25	4.23	0.96	4.02	0.28	34.99	75.43
1	32.19	0.16	3.63	0.94	3.53	0.23	35.18	75.87

Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

AREVA
l'avenir pour énergie

Reservoir clogging products
Results of laboratory studies on thermodynamics

- Definition of 2 sub-systems (University of Lyon - thesis)
  - System Fe2O3 – Fe2(SO4)3 – FePO4 – H2O — Yellow to brown precipitate
  - System Al2O3 - CaO - Al2(SO4)3 – CaSO4- H2O — Whitish precipitate
- Main results on second sub-system : Al-hydroxysulfates
  - Gypsum CaSO4:2H2O — Molar volume: 74.690 cm3.mol-1
  - Alunogens Al2(SO4)3:17H2O — Molar volume: 122.111 cm3.mol-1
  - Alunite KAl3(OH)6(SO4)2 — Molar volume: 146.800 cm3.mol-1
  - Aluminite Al2(SO4)(OH)4:7H2O — Molar volume: 192.268 cm3.mol-1



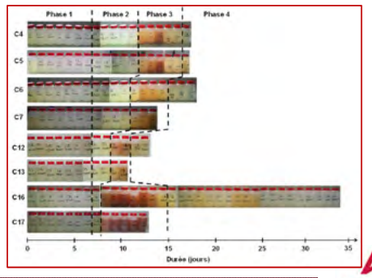
Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

AREVA
l'avenir pour énergie

Reservoir clogging products

Results of laboratory studies on thermodynamics on column tests

- Column tests performed in SEPA
  - TKD & MKM ores
  - H2SO4 10, 20, 30 g/L & VR
  - Final pH 1.2 or intermediate
- Results
  - Phase 1 – water: no precip.
  - Phase 2 – pH 6-7: Calcite dissol. CO2↑ Gypsum↘
  - Phase 3 – 4<pH<6: Gypsum↘ with VR: precipitation of Al phase
  - Phase 4 – pH<4: no more precip. re-dissolution of Al and Fe phases



→ Consistent with previous results confirm precip. of Al phases

Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

Clogging Mechanisms

Chemical Model

- Based on usual geochemical model:

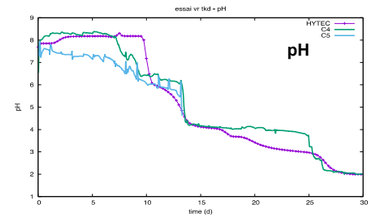
Uranium	Uraninite
Fast pH buffer	Calcite
Fast Fe(III) provider	Goethite
Long term pH buffer & Fe(III)	Beidellite (kinetic control) + other silicates

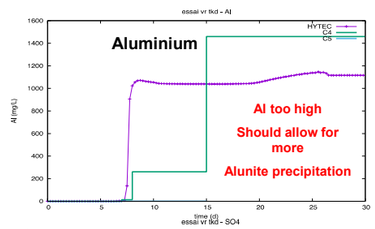
- Secondary minerals:
  - Alunite + 6 H+ ⇔ K+ + 3 Al3+ + 2 SO42- + 6 H2O
  - Ion exchange (clay surfaces), including K+
  - Reasonable adjustment of clay surface (kinetics + sorption)
  - No adjustment on the composition

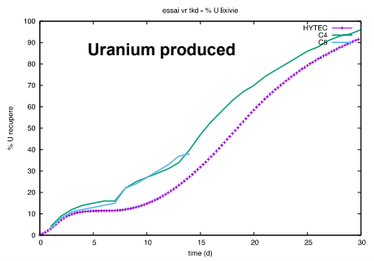
Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

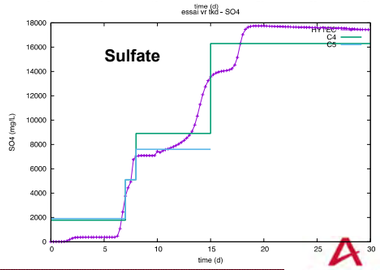
Clogging Mechanisms

Model calibration results from column tests







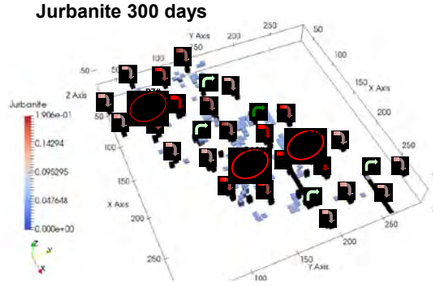


Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

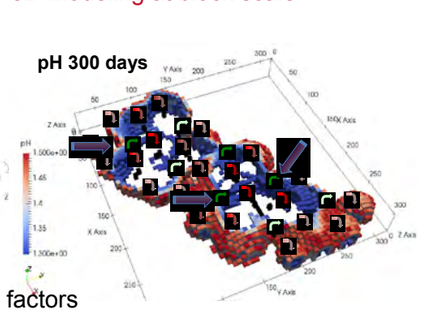
Clogging Mechanisms

3D Modeling at block scale

Jurbanite 300 days



pH 300 days



- Identification of clogging enhancing factors
  - Inlet composition:
    - High Al content

    → **Possible operational leverage**
  - Mixing with aquifer waters:
    - Local imbalance (even with overall perfectly balanced blocks)
  - Local pH disturbances:
    - Remaining mineral buffers

    → **Possible mitigation (acidification scenario, drilling procedure)**

Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanducit qui quis nis pa quam velit faccaturis

Reservoir clogging products
Conclusion and pending questions

- Clogging phase characterization
  - Mainly … gypsum, alunite, hydronium-alunite, mix of Al hydroxydes and Al-hydroxysulfates
  - Determination of important solubility constants
  - Further wellfield investigations required for interpretation of recent experiments
    - Sampling liquid phases changes during block life
    - Sampling solid phases during well work over
- Clogging mechanism and reactive transport modeling
  - Al occurrence and clay abundance
  - pH and acidification
  - Hydrodynamics of well field
- Clogging treatment

Sed qui doloratur, qui sincit doles maximi, nonsentur solorro officte sima si conse optiatet acium excesti quia sanduct qui quis nis pa quam velit faccaturis

AREVA
l'avenir pour énergie

3D REACTIVE TRANSPORT SIMULATION OF URANIUM IN SITU LEACHING

[1] Regnault O., [1] Petit G., [2] Lagneau V., [1] Le Beux A., [3] Fiet N.
[1] AREVA, BU Mines, France
[2] Mines ParisTech, France
[3]KATCO, Almaty, Kazakhstan

AREVA Mines, along with MINES ParisTech, has developed a complete modelling work-flow dedicated to in situ leaching (ISL) operation management. This work-flow is based on reactive transport simulations, a powerful tool when it comes to simulate in 3D processes involved with the circulation and reactivity of a leaching solution in a porous media.

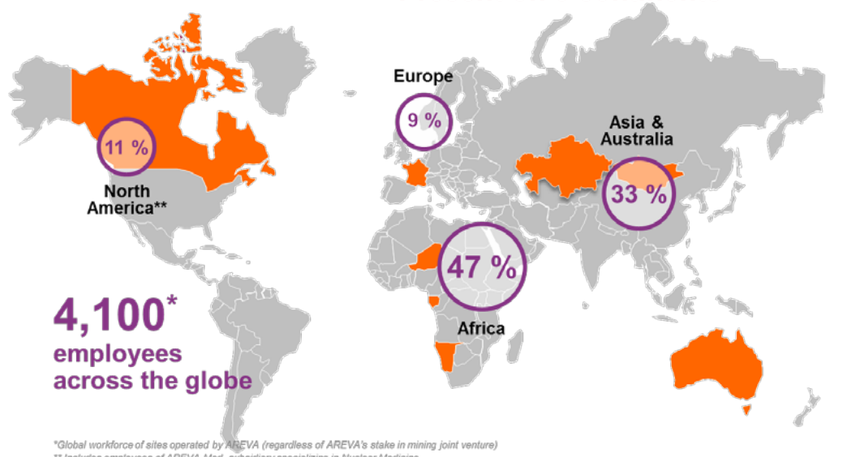
The model relies first on a 3D geological description of the uranium bearing aquifer combining both hydrodynamic and geochemical parameters such as the porosity and permeability fields or the distribution of the main reactive minerals phases (including uranium) within the deposit. Secondly, the model integrates the main operational parameters, i.e. well field geometry including screen positioning, injection and production flow-rates at well scale or reagents addition into the injected solutions. The hydrodynamics and geochemical processes are solved using standard physicochemical equations and extensive thermodynamic databases.

The reactive transport simulation itself is performed with the software HYTEC which allows solving massive parallel calculation (over 1 million cells) with computational time in adequacy with operator needs: a few hours to achieve several years of exploitation for a standard production block.

This tool is currently tested at operation scale for KATCO Mine in Kazakhstan with an AREVA Mines specific graphical user interface. It offers convincing results in terms of prediction of uranium recovery and reagents consumption (e.g. sulphuric acid) over several years of exploitation for complete production areas (up to 300 production wells).

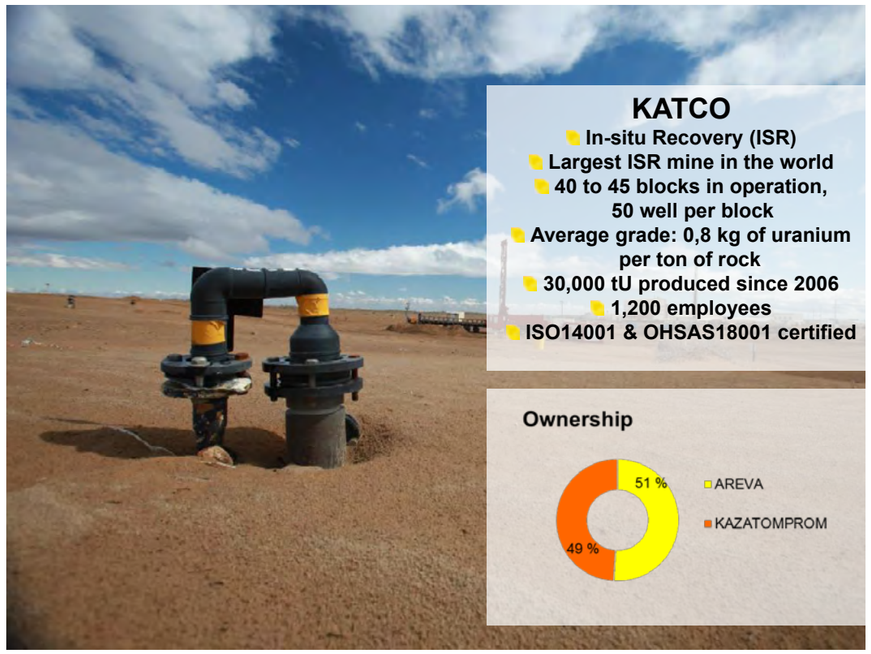
Different simulations were performed: validation (using historical data), history matching (forecast updated with a learning curve), or full predictive (based only on geological data and production scenarios). Other applications are underway from optimization studies at the block scale, to technico-economic sensitivity analysis at the mine scale related to long term mine planning.

AREVA MINES
Present on 5 continents



4,100* employees across the globe

*Global workforce of sites operated by AREVA (regardless of AREVA's stake in mining joint venture)
** Includes employees of AREVA Med, subsidiary specializing in Nuclear Medicine



AREVA MINES
Today's operating Mines

11,185* tU in 2016

Diversified production:
3 countries with
5 mines in operation

Canada
McArthur River**/Key Lake**
Cigar Lake**/McClean Lake
Total production – 13,610 tU
AREVA's share – 4,570 tU

Kazakhstan
KATCO – 4 002 tU

Niger
SOMAÏR
COMINAK
Total Production – 3,477* tU
AREVA's share – 2,164 tU

In 2016:

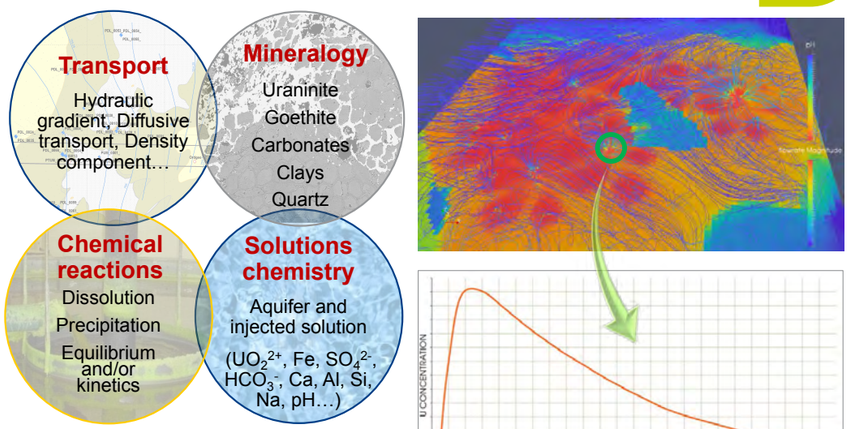
Successful ramp-up for :
- Cigar Lake mine, operated by Cameco,
- McClean Lake mill, operated by AREVA.

*Financially consolidated AREVA share to which should be added 510 tons of Uranium corresponding to the AREVA's share in COMINAK. Due to the changes in the accounting standards, COMINAK has no longer been financially consolidated since the beginning of 2014.
**Operated by CAMECO

Reactive transport simulation for ISR
Context and Objectives

- 3D Reactive transport simulations for ISR have been performed for several years at R&D Department of AREVA Mines.
- Based on the software HYTEC developed by Mines ParisTech.
- Specific developments were made to build a user friendly work-flow fully dedicated to ISR operation.
- Provide operation oriented results for short term optimization (during production) and long term planning (new areas).

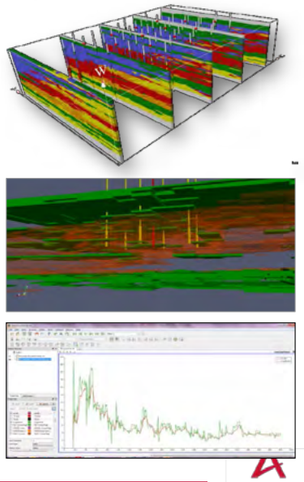
Reactive transport Modelling



Input Data

Reservoir, well field geometry and operation

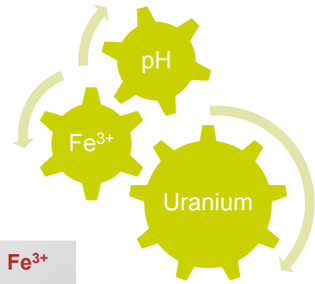
- 3D geological block model
  - Lithofacies: clay, fine and coarse sand
  - Redox classes: oxidized, reduced, mineralized
  - U grade
- Hydrodynamics parameters
  - Permeability, porosity, dispersivity
- Well field geometry
  - Pattern of injection and production wells
  - Well screens location within the reservoir
- Operational parameters
  - Flow-rates for each well
  - Acid addition for each injection line



Input Data

Geochemistry

RESERVOIR ACIDIFICATION
- Reservoir invasion
  - Carbonates
    - Short term consumer
  - Iron Hydroxide
    - Short term consumer
    - Clays
- Long term consumer



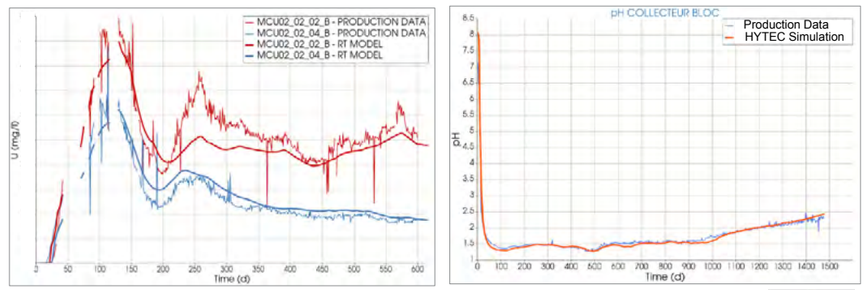
ORE OXIDATION: Fe^{3+}
- Iron Hydroxide
  - Short term provider
  - Fe^{3+} solubility control
  - Clays
- Long term provider

URANIUM DISSOLUTION
- Uraninite
  - Oxidative Dissolution
  - [Fe^{3+}] controlled

Simulations Results

Well field scale

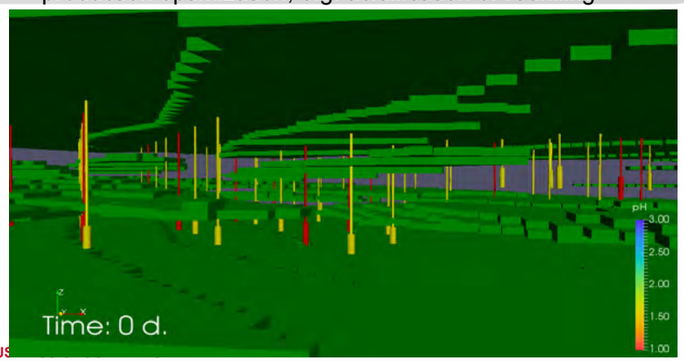
- Chemical composition of the production solutions at well scale and collector scale (Technological block)
- Uranium concentration, pH, acid consumption… + all the chemical species taken into account in the model



Simulations Results

Reservoir scale

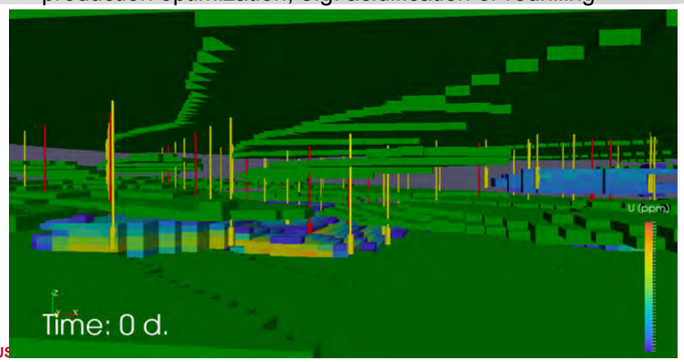
- Temporal and spatial evolution of flow and chemistry within the reservoir
- Complementary and privileged information = Guides for production optimization, e.g. acidification or redrilling



Simulations Results

Reservoir scale

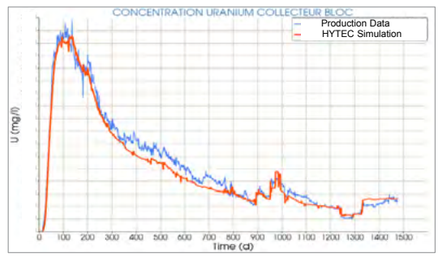
- Temporal and spatial evolution of flow and chemistry within the reservoir
- Complementary and privileged information = Guides for production optimization, e.g. acidification or redrilling

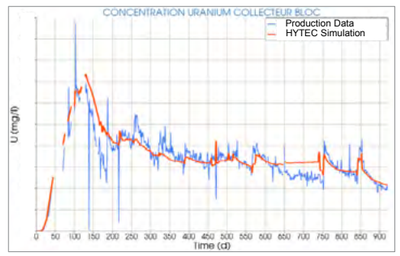


Model Validation

A block scale level

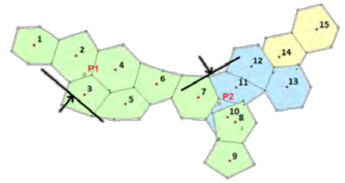
- Qualification of the code and Calibration of the model and at the technological block scale
- For different deposits of the KATCO Mine
- For more than 20 technological blocks

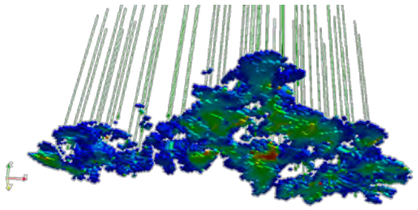


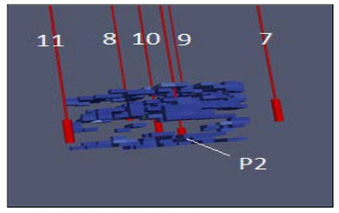


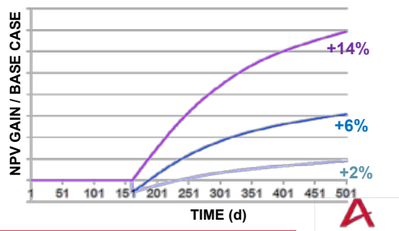
Optimization study

Well redrilling during exploitation

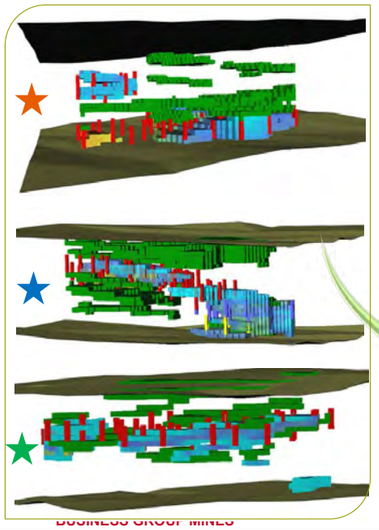




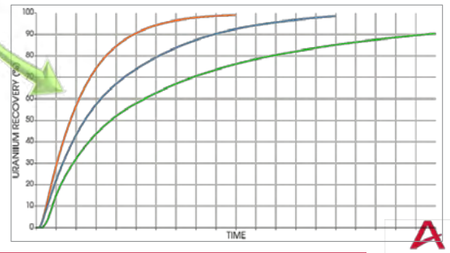




Long term mining plan
Upscaling

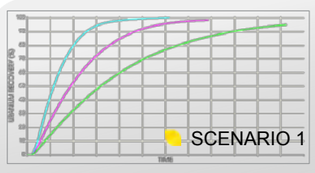


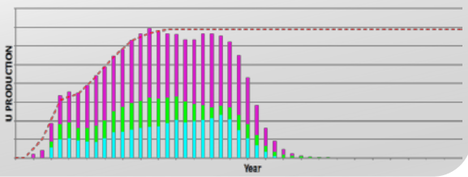
- From uranium recovery curves at the block scale to deposit mining plan taking into account :
  - **Reservoir geometry**
  - **Ore body morphology**
  - Uranium reserve
  - Ore reactivity…

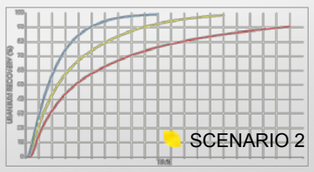


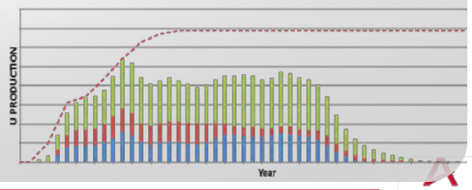
Long term mining plan
Sensitivity studies

- Sensitivity studies at deposit scale :
  - Flow-rates, Acidification strategy, Well-Field Pattern or Sequence of blocks opening



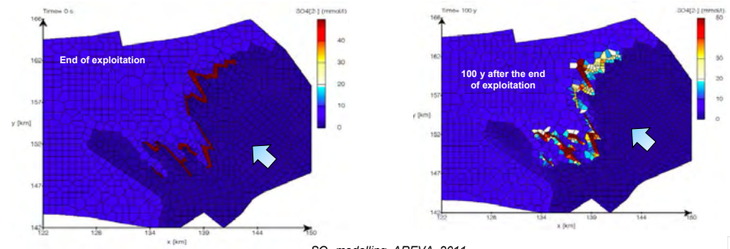






Natural attenuation

- Clear understanding of the natural attenuation based processes
- Geochemical models using field data in order to anticipate post-mining remediation
- Risk assessment study regarding exploration criteria and mining operations



SO_4 modelling. AREVA, 2011

Conclusion

- Development still on-going but already an operational modelling tool:
  - Graphical interface for pre and post-processing;
  - Compute capacity : from the technological block scale to a complete production area (up to 300 wells) using a 1 million grid cells.
- Dedicated to both operation optimization of the exploitation and long term mining purposes.
- Industrialization phase in the coming months: implementation on the mining site.

ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУДЕННОВСКОЕ, ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ В ПРАКТИКЕ РАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Матунов А.И.
АО «СП «Акбастау», Шымкент, Казахстан

Месторождение Буденновское выявлено в 1979 в проницаемых аллювиальных отложениях верхнего мела Шу-Сарысуйской депрессии и является одним из крупнейших урановых объектов Казахстана. Поисковые, поисково-оценочные и разведочные работы в районе проводились начиная с 1987 года; площадь выявленного месторождения была разделена на два геоморфологических района: труднопроходимую дельту р.Шу (Северный фланг) и район с предгорным холмистым рельефом (Южный фланг). Прогнозные ресурсы только южного фланга были оценены в ~200 000 тонн урана. В 90-х годах разведочные работы были приостановлены из-за отсутствия финансирования. В 2006 году они возобновились, продолжаются по настоящее время, и при этом установлены некоторые особенности детально разведанного южного фланга Буденновского эпигенетического гидрогенного месторождения урана.

В первую очередь, это местоположение участка в максимально погруженной части депрессии. Тем самым определилось, что разрез именно этой площади в верхнемеловое время практически полностью формировался наиболее благоприятными для рудоотложения - русловыми фациями. Широкому развитию в составе этих фаций гетерогенных, в основном грубозернистых, песчано-гравийных пачек обязаны своим проявлением очень сложная морфология оруденения в плане, большой размах по вертикали, многоярусность, относительно высокая продуктивность залежей.

Второе: высоконапорный характер подземных вод с положительным залеганием пьезометрического уровня, весьма высокая водопроводимость, проницаемость и водообильность горизонтов, отсутствие выдержанных водоупоров, расположение месторождения в оси Сузакского артезианского бассейна на стыке с массивом хр.Б.Каратау – это «набор» гидрогеологических особенностей объекта. Такое положение в региональных гидрогеологических структурах определяет уникальные мощности уранового оруденения, его высокую технологичность применительно к способу ПВ. Также, современные потоки подземных вод, связанные с воздыманием хр. Б. Каратау, вызвали изменения в морфологии ранее образованных рудных тел.

Третье: относительно низкие содержания основных восстановителей сингенетического генезиса в рудовмещающих породах в совокупности с влиянием современных потоков подземных вод от хр. Каратау обуславливают недостаточно контрастный восстановительный барьер, необычайно растянутый профиль эпигенетической зональности с нечеткими границами между отдельными зонами и подзонами и, как следствие, в весьма высокой степени усложнили радиологические закономерности формирования уранового оруденения.

В четвертых – часть запасов месторождения (а для Северного фланга – практически – все), находятся под площадью развития солончаков в пониженных частях рельефа.

Выявленные особенности месторождения учитывались в практической деятельности компании «Каратау» при проведении разведочных и добычных работ и это – составляющая часть успешного функционирования предприятия:

1) при вскрытии запасов многоярусного оруденения работы проводятся поэтапно, уровень за уровнем от простого, большего по площади рудного тела – к сложному, меньшей площади, последовательно уточняя конфигурацию границ, исключая ошибки по сооружению скважин. Спроецированные воедино на дневную поверхность несколько таких рудных тел и отрабатываются по возможности последовательно, в разное время, используя (без перемещения по площади!) одни и те же узлы технологических блоков.
2) в условиях положительного динамического уровня применяется экспериментальная обвязка блоков: на рисунке 1 – схематичные условия применимости насосов в скважинах, когда отметки дневной поверхности могут располагаться выше (обычная практика) и – ниже динамического уровня (м-е Буденновское). Принципиально - схемы одинаковы и отличаются друг от друга только отметкой уровня дневной поверхности!

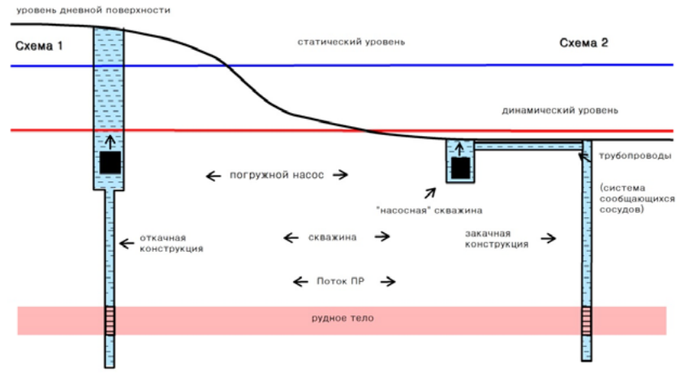
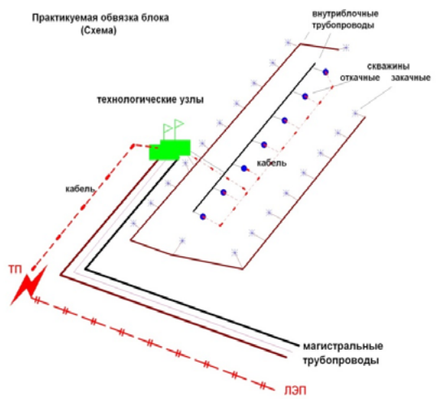


Рис.1. Схема применения «насосных» скважин в различных гидродинамических системах

В традиционной схеме добыча осуществляется следующим образом:
В верхней части откачной скважины располагается погружной насос и это заставляет часть скважины разбуривать большим диаметром, «обсаживать» трубами большего размера, оборудовать верхний торец скважины соответственно более дорогим оголовком; к месту расположения технологического узла и каждой такой скважины от ТП и от узлов распределения растворов прокладываются электрокабели (рис.2).



Все эти дополнительные затраты представляются неизбежными, так как места расположения откачных скважин определены морфологией рудного тела и необходимостью задавать растворам под землей вектор их движения с использованием погружного насоса. Гидрогеологические условия месторождения Буденовское позволяют использовать метод ПСВ с применением «насосных» скважин:

откачные скважины сооружаются в формате закачных; вблизи от трансформаторных подстанций глубиной 30-50 метров сооружаются «насосные» скважины, оборудованные глухой безфильтровой колонной, в них располагаются погружные насосы (рис.3).

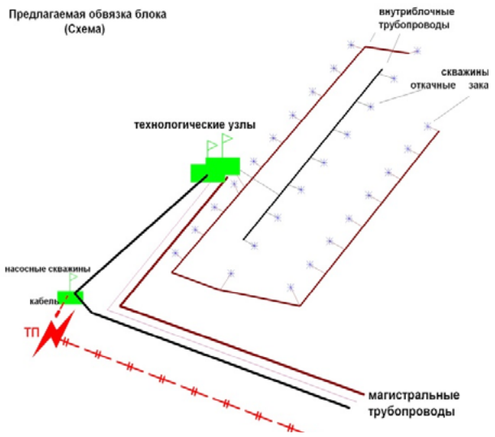


Рис.3 Экспериментальная схема обвязки

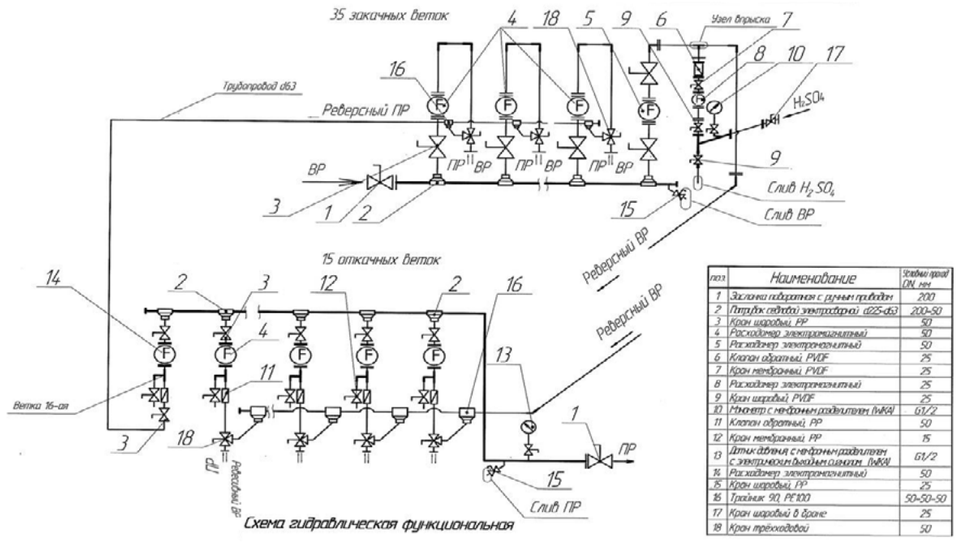
В результате, существенно снижаются затраты на закупку кабельной продукции, на приобретение погружных насосов (стоимость более мощного насоса намного меньше, чем стоимость нескольких, равных ему по мощности), на оголовниках.

Насосные скважины с откачными соединены шлангами и представляют собой систему сообщающихся сосудов. Видимо, необходимым условием при этом должен быть - положительный напор подземных вод над дневной поверхностью и расположение насоса ниже динамического уровня.

Минимальное число таких насосных скважин – одна на технологический блок. Производительность по потоку в откачных скважинах при этом регулируется с помощью запорной аппаратуры.

В новом техническом решении добавляя насосные скважины в трубную обвязку, мы создаем условия, которые не требует в нужной точке блока располагать насос и инфраструктуру для него; необходимый вектор движения пластовых вод в такой точке создается дистанционно, с использованием насосных скважин. Это кардинальным образом оптимизирует работу системы (в любой момент времени можно в любых соотношениях использовать любые скважины и откачными и закачными, сооружая их в формате только закачных), снижает себестоимость подземного выщелачивания и – уменьшает потери урана путем отработки «застойных» зон.

Технически это осуществляется с использованием схемы УПРР, где присутствуют закачная линия, откачная линия, линия закисления, «реверсная» линия (Рис 4).



поз.	Наименование	Условный проход DN, мм
1	Задвижка параллельная с двумя дисками	200
2	Патрубок сварной электрофорный ф225-ф63	200-50
3	Кран шаровый PP	50
4	Расходомер электромагнитный	50
5	Расходомер электромагнитный	50
6	Клапан обратный PVDF	75
7	Кран тепловой PVDF	75
8	Расходомер электромагнитный	75
9	Кран шаровый PVDF	75
10	Манометр с мембранным разделителем (МВР)	G1/2
11	Клапан обратный PP	50
12	Кран тепловой PP	75
13	Датчик давления с мембранным разделителем с электрическим выходным сигналом (МВР)	G1/2
14	Расходомер электромагнитный	50
15	Кран шаровый PP	75
16	Тройник 90 PE100	50-50-50
17	Кран шаровый в борне	75
18	Кран трехходовой	50

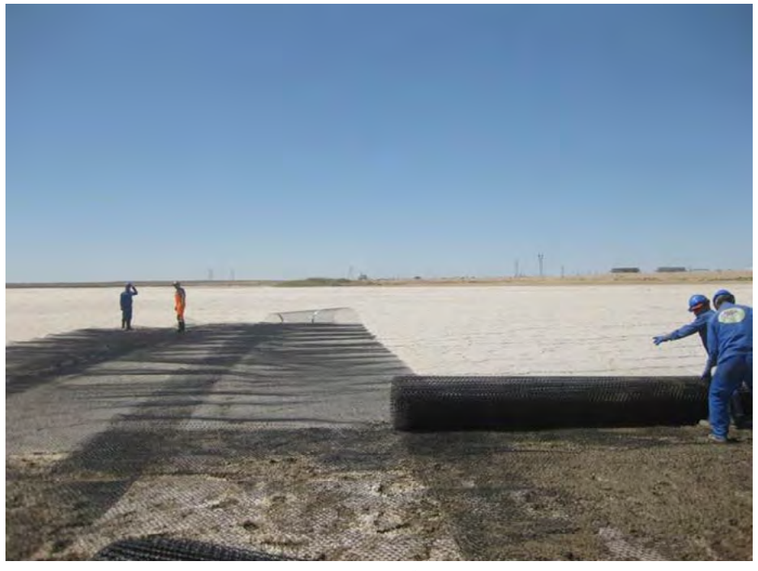
Рис.4 Схема УПРР

Упомянутые гидрогеологические особенности месторождения, которые позволяют применять вышеописанные схемы обвязки, определяют и следующие аспекты работы предприятия:минимальную разницу между вскрытыми, подготовленными и готовыми запасами, а также «К» готовых запасов ≤ 1,5.

Третья особенность - «растянутый» профиль эпигенетической зональности – сформировал на границах вертикального «размаха» ЗПО ничтожные по мощности и содержанию, близкие к минимальным кондициям, незакономерно располагаемые рудные тела. При проведении детальных разведочных работ эта особенность определяла приоритеты разведочных работ, что позволило сократить сроки, стоимость разведки и сроки перехода к этапу добычи. На 1 разведочную скважину пришлось около 100 тонн разведанных по промышленным категориям запасов урана и всего их только на участке 2 около 70 000 тонн. Начало разведки при этом – конец 2005 года, переход к эксплуатации – 2008 год.

— при интерпретации гамма-каротажа для расчетов стволовых запасов урана применяется сложно построенный дифференцированный алгоритм с учетом и позиции скважины в эпигенетической зональности и средних содержаний радия в интервале и - учитывается зависимость поправочных коэффициентов от мощности аномалии в разрезе. Упрощенная методика не позволила бы точно рассчитывать содержания урана и вычленять из подсчетов остаточные радиевые ореолы, масштабно сформированные перемещением урановых минералов под воздействием активных современных потоков подземных вод, не встречающих контрастных восстановителей в рудовмещающих породах. Такая методология интерпретации также обусловлена гидрогеологическими и эпигенетическими обстоятельствами.

Ландшафтные особенности объекта, когда часть запасов проецируется на солончаковые, непроходимые, грунты, в практике определили подготовку к отработке с применением геомембранных сеток (Рис 5):



Детальное изучение указанных основных особенностей месторождения на стадии разведки и эксплуатации, применение полученных знаний в практике, автоматизация, диспетчеризация процессов, оптимально подобранный коллектив компании, позволяют на одного работающего добывать около 6 тонн урана в год с рекордно низкими показателями по себестоимости.

УДК 621.039.1

РАҚ ҚОЙМАСЫНДАҒЫ УРАН САЛМАҒЫН ЕСЕПТІК-ТӘЖІРИБЕЛІК ЖОЛМЕН АНЫҚТАУ

[1] Прозорова И.В., [2]Зубарев В.Н., [2]Бауыржан А.Б.
[1]«АЭИ» ҚР ҰЯО Филиалы, Курчатов, Қазақстан
[2]МИФИ ҰЯЗУ, Мәскеу, Рессей

АҢДАТПА

Жұмыста ядролық материалдың мәлімденген мөлшерін растауға арналған MCNPX бағдарламасының көмегімен радиоактивті қалдықтар қоймасындағы уран салмағын есептік-тәжірибелік жолмен анықтау жүзеге асырылды. Тәжірибелік деректер бойынша алынған уран салмағы мәлімденген мөлшерден қатты өзгешеленеді. MCNPX нейтрондық-физикалық есептеу бағдарламасы және алынған тәжірибелік деректер пайдаланылатын есептік-тәжірибелік әдіс мәлімденген мәнмен келісілетін уран салмағының мәнін алуға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: ядролық материалдарды бақылау және есебін жүргізу, радиоактивті қалдықтар қоймасы, ядролық материалдарды бұзбайтын өлшеулер, пассивті нейтрондық өлшеулер, нейтрондық-физикалық есептеулер, MCNPX бағдарламасы, азайған уран.

Жұмыстың мақсаты: ЯМ мәлімденген мөлшерін растауға арналған MCNPX бағдарламасының көмегімен РАҚ-дағы ЯМ көлемін есептік-тәжірибелік жолмен анықтау.

Жаңалығы: бұл жұмыста қоймадағы ЯМ мөлшерін бағалау үшін нейтрондық-физикалық есептеулер қолданылды, ал бұл кәсіпорын аясында алғаш рет орындалды. Бұл ЯМ есебін жүргізу және сақтау жүйесін радиациялық қауіпсіздіктің жаңа деңгейіне шығаруға мүмкіндік берді, ЯМ бақылау сапасын арттырды.

Жұмыстың міндеттері:

1. РАҚ сақталатын қоймадағы ЯМ өлшеу;
2. MCNPX бағдарламасын зерттеу. Зерттелетін объектінің параметрлерін бағалау, MCNPX бағдарламасы бойынша нейтрондық-физикалық есептеулер жүргізу;
3. Алынған нәтижелерді және есептеу барысындағы өлшеулерді талдау;
4. Қоймадағы азайған уранның салмағын анықтау.

КІРІСПЕ

Тиімді халықаралық кепілдіктерді қолданудың міндетті шарты - ядролық материалдарды бақылау және есебін жүргізудің ұлттық жүйесінің болуы. ЯМ-дың орналасқан жеріндегі сандық сипаттамалары, ЯМ ағындарының пайдаланатын ұйымдардың ішіндегі және ұйымдар арасындағы сандық сипаттамалары мұқият есептелуі тиіс. ЯМ туралы ақпарат ядролық материалдармен жұмыс істеудің барлық деңгейлеріндегі заманауи басқару және қауіпсіздік жүйелерінің негізін құрайды. Қазіргі кезде түрлі физикалық және химиялық түрдегі ЯМ-ды анықтау, сәйкестендіру, талдау және тексеруге арналған құралдар мен әдістердің көлемді жинағы қалыптасқан.

ЯМ-ды бақылау және есебін жүргізу мақсатында, РАҚ қоймасындағы ЯМ-ды растайтын өлшеулер өткізілді.

Зерттеу объектісі РАҚ қоймасындағы 3 ұяшық болып табылады. 3 ұяшықтың әрқайсысында топырақ, болат және азайған металл уранның қоспасынан құралатын РАҚ орналастырылады.

РАҚ ҚОЙМАСЫНДАҒЫ УРАН САЛМАҒЫН АНЫҚТАУ

Инспекция өткізу барысында радиоактивті қалдықтар қоймасында, мәлімденген материал мөлшерін растау мақсатында, қойма ұяшықтарындағы азайған уран көлемі өлшенген. Тәжірибелік деректер бойынша ядролық материалдың жиынтық салмағы есептелген. Қоймадағы ядролық материалдардың геометриясы, құрамы мен орналасуы туралы дұрыс ақпарат болмағандықтан, салмақ нүктелік жақындаумен анықталды. Алынған мән, қателіліктің ескерілуімен, техникалық құжаттаманың деректеріне дәл келмеген:

$$m_{экс} = (31\pm4)\ т,\quad P=0{,}68,\quad m_{заяв} = 40\ т$$

Қоймадағы ядролық материалдардың мөлшерін дұрыс бағалау үшін, MCNPX нейтрондық-физикалық есептеу бағдарламасын пайдаланатын есептік-тәжірибелік әдіс қолданылды. Жұмыстың бұл кезеңінде MCNPX бағдарламасы бойынша есептелген тәжірибелік деректер мен нәтижелер пайдаланылды. Инспекцияны өткізген кезде, қойма ұяшықтарын толтыру деңгейі және радиоактивті қалдықтардың құрамы сияқты зерттелетін объектінің параметрлерін бағалау жүзеге асырылды. Нәтижелері бойынша MCNPX бағдарламасының кіріс файлында радиоактивті қалдықтар қоймасы мен нейтрондық детектордың 3D-моделі құрылған және есептегіштегі есептеу жылдамдығын сипаттайтын қажетті функционал белгіленген. Радиоактивті қалдықтар қоймасының ұяшықтарындағы азайған уранның салмағы итерациялық іріктеу барысында анықталды. Әрбір ұяшық үшін азайған уран салмағының мәндері детектордағы есептеу жылдамдығының есептік мәндері (1-формула) қателілік шегінде тәжірибелік мәндерге сәйкес келетіндей етіп іріктелген.

$$R_{расч} = \varepsilon \times m_i \times \gamma\ [н/с] \qquad (1)$$

мұндағы ε – қармау реакциясының жылдамдығы;

m_i – ұяшықтағы уранның болжалды салмағы, [г];

γ – ^{238}U үшін кездейсоқ бөліну нейтрондарының шығысы.

$$m_{расч} = (46\pm3)\ т,\ P=0{,}68$$

Қателілік шегіндегі уран салмағының есептік мәні техникалық құжаттаманың деректеріне сәйкес келеді, бұл радиоактивті қалдықтар қоймасындағы ядролық материалдардың мәлімденген мөлшерін растайды.

ЕСЕПТЕУЛЕР БОЙЫНША ТҰЖЫРЫМДАР

1. Нейтрондық-физикалық есептеулер және тәжірибелік деректер нәтижесінде қоймадағы азайған уран салмағы (46±3) т, P=0,68 құрайтындығы анықталды. РАҚ-дағы ^{235}U мөлшері (0.14±0.01) т, P=0,68 құрайды.

2. Материалдардың гомогенденуі үйлесімділікті нашарлатады және ақырғы нәтижеге ықпал етеді.
3. Үлгілеу барысында жасалған болжамдар есептеулердің нәтижелеріне қатты әсер етеді, себебі MCNPX бағдарламасы зерттеу объектісінің геометриясына және ядролық материал мен детектор арасындағы арақашықтыққа өте сезімтал келеді.
4. РАҚ қоймасы үлгілеу үшін күрделі объект болып табылады. ЯМ-дың құрамы мен өзара орналасуы туралы толық ақпарат болмағандықтан, алынған мәндер бағалаушы сипатқа ие.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жұмыста ЯМ бақылау және есебін жүргізу жүйелеріне арналған бұзбайтын нейтрондық талдау әдістері мен аспаптары зерттелді.

Жобамен жұмыс істеу еліміздің ядролық қызметін халықаралық бақылау жүйесімен, кәсіпорындағы МАГАТЭ инспекциялық қызметімен толығырақ танысып, дала өлшеулеріне тікелей қатысуға мүмкіндік берді.

МАГАТЭ инспекциясын өткізу аясында РАҚ-дағы уран салмағын анықтау мақсатында өлшеулер өткізілді. Ұсынылған өлшеу әдісі мен есептеулер мәлімденген мөлшерді растайтын уран салмағын алуға мүмкіндік берді. Сондай-ақ нәтижелер бұл әдісті қоймадағы ЯМ-ды бағалау үшін қолдануға болатынын көрсетті.

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПО ВОВЛЕЧЕНИЮ В ОТРАБОТКУ ТЕХНОГЕННЫХ И ОСТАНЦОВЫХ УРАНОВЫХ РУД

[1]Ниетбаев М.А., [1]Першин М.Е., [1]Ермилов А.Н., [2]Уваров А.Д., [2]Акопян Ю.М., [2]Кайсабекова Б.М., [3]Поезжаев И.П.

[1]КФК UrAsia Energy Holdings Ltd, Астана, Казахстан
[2]ТОО СП «ЮГХК», Шымкент, Казахстан
[3]ТОО «ЭлитСтройПроект-КС», Алматы, Казахстан

Проблема восполнения минерально-сырьевой базы действующих добычных предприятий, ведущих добычу урана методом подземного скважинного выщелачивания (далее – ПСВ) в Казахстане в последние годы становится актуальной вследствие исчерпания ресурсной базы ряда объектов и невозможности ее восполнения за счет новых участков или залежей вблизи созданной добычной инфраструктуры. Существенное влияние на указанную проблему оказывает наблюдаемое в последние годы снижение мировых цен на конечную продукцию добывающих предприятий что заставляет производителей искать новые и нестандартные подходы к уменьшению себестоимости продукции.

Компания Uranium One, представленная в Республике Казахстан своим филиалом UrAsia Energy Holdings Ltd., является одной из крупнейших в мире уранодобывающих компаний с глобально диверсифицированным портфелем международных активов в Казахстане, США и Танзании. Все 100% акций Uranium One принадлежат Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

В Казахстане Uranium One является крупнейшим партнером национального оператора АО «НАК «Казатомпром» и владеет 70% долей в СП «ЮГХК» (рудники Акдала и Южный Инкай), 50%-ной долей в СП «Каратау», 50%-ной долей в СП «Акбастау», 49,98%-ной долей в СП «Заречное» и 30%-ной долей участия в СП «Хорасан-U».

Все указанные Казахстанские предприятия компании Uranium One ведут добычу урана методом ПСВ обеспечивая одни из самых низких в мире и в отрасли показатели по себестоимости добываемого металла. Несмотря на это, указанные выше факторы (исчерпание имеющейся ресурсной базы и наблюдаемые рыночные тенденции) еще больше стимулируют продолжать систематическую работу по поиску новых драйверов развития.

Одним из таких факторов может послужить рассматриваемый ниже подход по вовлечению в отработку техногенных и останцовых урановых руд в рамках существующих геологических отводов предприятий. Вопросам использования техногенных руд в специализированной литературе последние десятилетия посвящено достаточно много работ, однако они в подавляющем большинстве касаются извлечения полезного металла из отвалов (техногенных образований) горных производств [1-4]. Известно о добыче остаточных растворов и эксплуатации техногенных руд на отработанных блоках промплощадок Навоийского ГОКа (месторождения Сев. Букинай, Учкудук), однако сведения об этих работах в открытых источниках отсутствуют [5-6].

В данной работе под техногенным урановым оруденением мы понимаем новообразованные рудные концентрации, появившиеся в результате переотложения в восстановленных частях разреза растворенного в процессе добычи урана. Также к техногенным следует относить линзы урановосных растворов, мигрировавших из зон влияния откач-

ных скважин, во время периода эксплуатации залежи либо позднее. Остаточными будем считать части рудных интервалов, которые были не закислены, либо не отработаны, и остались in situ. Техногенное оруденение характеризуется низкими значениями коэффициента радиоактивного равновесия.

Разработка месторождений урана способом подземного выщелачивания подразумевает подачу технологических растворов в недра для перевода полезного компонента в растворимую форму и дальнейшее извлечение растворов на поверхность для дальнейшего передела. Нормативный коэффициент извлечения урана из недр по условиям действующих контрактов на недропользование колеблется от 0,80 до 0,90. Это означает, что от 10% до 20% исходных запасов рудных объектов располагаются в контурах существующей добычной инфраструктуры, локализованы в уже созданной благоприятной геохимической среде и имеют значимые масштабы. Наиболее ярко «нормативные потери» проявляются на месторождениях, где оруденение характеризуется сложной морфологией и отсутствием выдержанных водоупоров. Добыча техногенного и остаточного урана на отработанных залежах является подходом, ведущим к восполнению минерально-сырьевой базы предприятия.

Для урановорудных объектов Республики Казахстан задача разработки методики прогноза и отработки остаточных образований является новой и нестандартной. Добывающие предприятия в контуре АО «НАК «Казатомпром» на сегодняшний день не имеют каких-либо методических пособий или рекомендаций в этом направлении.

В силу недостаточности фактических данных по концентрациям урана в отработанных блоках, и новизны самой темы, в рамках проведенной в ТОО «СП «Южная Горно-Химическая Компания» (Далее – ТОО «ЮГХК») НИОКР «Выявление и отработка техногенных и останцовых руд на месторождении Акдала участок Ближний. Этап 1.» были использованы всевозможные косвенные методы прогноза, начиная с картирования исходной продуктивности и заканчивая компьютерными моделями действительных скоростей фильтрации [7]. Информативность и конечная ценность доступных методов для прогноза неравнозначна, но по итогам выполнения НИОКР этапа 1 можно говорить о рациональном наборе методик, позволяющих проводить обоснованный прогноз техногенных и остаточных скоплений урана. В результате, в ТОО «ЮГХК» для одного из урановорудных объектов месторождения Акдала, характеризующегося незначительным количеством оставшихся запасов в структуре минерально-сырьевой базы, разработаны рекомендации и ведутся практические работы для заверки методики обнаружения остаточного и техногенного оруденения. Как показано на рисунках, в контурах промышленного оруденения на отработанных блоках одного из действующих рудников в результате проведенного анализа выделены участки локализации останцовых руд (см. рис. 1 и 2).

Локализация технологически и экономически привлекательных новообразованных скоплений остаточного урана в пределах геометрических границ блоков ожидается приуроченной к изначально богатым ячейкам и только в пределах зон законтурного растекания могут образовываться самостоятельные скопления.

Наличие остаточных скоплений урана на отрабатываемых / отработанных блоках зависит от:

- гидродинамических факторов, таких как объемы закачки / откачки каждой скважины, устойчивости дебитов во времени, закономерностей работы фильтров по длине,

соотношения горизонтальной и вертикальной составляющих коэффициента фильтрации и наличия дебаланса по растворам в пределах ячейки или рядной панели. Эти факторы определят условия возникновения застойных зон в разрезе и по латерали и вероятность миграции растворов в под- / надфильтровые части разреза;

- факторов рудоносности, т.е. приуроченности балансовых руд к определенным литологическим разностям, распределения мощности и продуктивности по латерали и в разрезе. Эти факторы определят потенциальную ценность остаточного и – в значительной степени – техногенного оруденения;
- факторов взаиморасположения руд, фильтров и водоупоров (наличия и степени обогащенности над- и подфильтровых рудных интервалов, наличия нижнего водоупора и расстояния от нижних кромок фильтров до кровли нижнего водоупора). Эти факторы ответственны за возможность формирования остаточных линз растворов как выше, так и ниже фильтров;
- факторов интенсивности отработки рудных интервалов (оценки интенсивности потоков технологических растворов в разрезах и в плане, и позволяют оценить вероятность обнаружения остаточных скоплений урана в эффективной мощности.

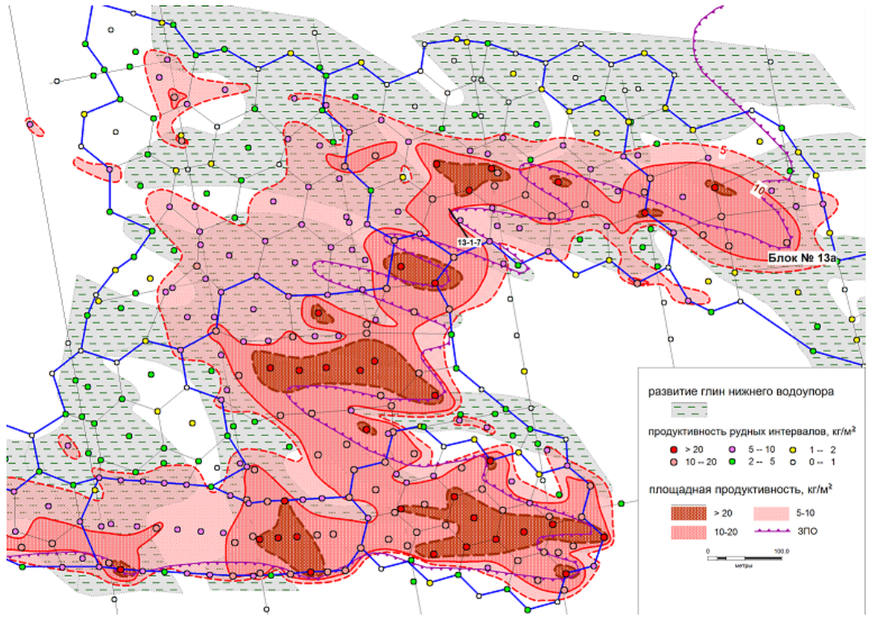


Рис. 1. Визуализация факторов рудоносности и взаимоположения руд и водоупоров. Фрагмент карты рудоносности с наложением областей развития нижнего водоупора

Разработанная в рамках указанной работы методика прогноза и оценки технологических блоков и их периферии на остаточное оруденение рассматривает прогнозные площади по месту локализации в рамках следующей классификации:

— приуроченные к надфильтровым интервалам;
— приуроченные к остаточному урану в фильтровых интервалах;
— приуроченные к подфильтровым интервалам;
— приуроченные к вероятным областям гравитационной миграции;
— приуроченные к законтурным образованиям, определяющим возможность прироста запасов технологического блока.

По условиям и ограничениям в оценке ресурсов остаточного урана основой прогноза и оценки служат карты продуктивности, карты распространения над– и подфильтровых рудных интервалов, литолого-фильтрационные разрезы и гидродинамические модели. Для оценки ресурсов остаточного урана вводятся поправки отдельно для надфильтровых и для подфильтровых интервалов. В оценке остаточных рудных интервалов в пределах фильтров просчитывается только область с исходной продуктивностью свыше заранее выбранного порогового значения. Оценка интенсивности отработки рудных интервалов дает возможность прогноза остаточного урана непосредственно в фильтровых интервалах и также способствует оценке вероятности растекания растворов вниз / вверх по разрезу от фильтра.

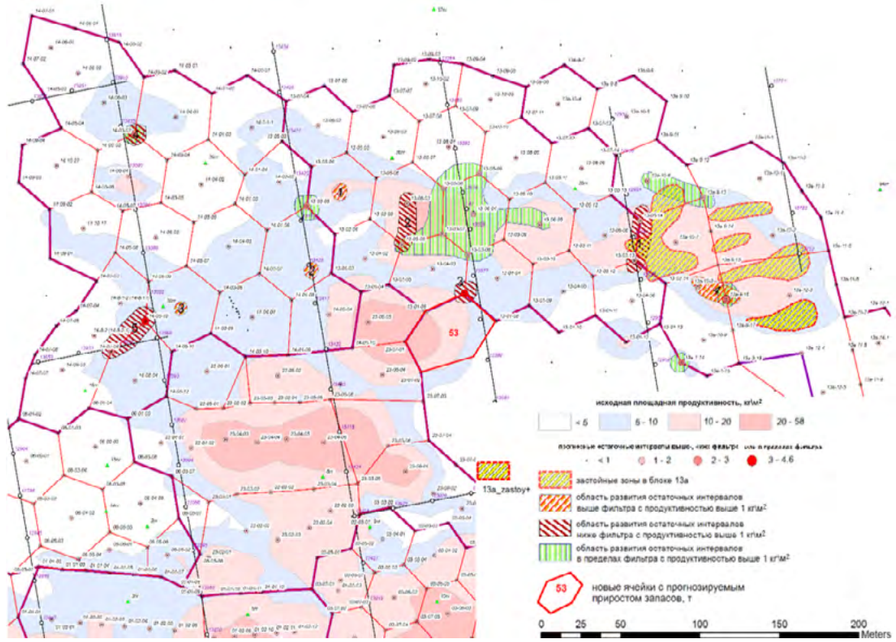


Рис.2. Оценка перспектив кластера 13-14-13а на остаточное оруденение

ВЫВОДЫ

Проведенная в рамках указанной работы оценка на остаточное оруденение позволяет говорить о наличии в кластере 13-14-13а запасов в зоне влияния до 86 т. При средней площадной продуктивности 6,11 кг/м^2. При этом, в пределах контуров действующих блоков остаточные запасы могут составить до 140 т, а с учетом прироста за счет расширения границ блоков вследствие растекания растворов без учета гравитационной миграции – до 193 т.

При подготовке методики прогнозирования и оценки остаточных и новообразованных скоплений урана определены и проанализированы основные группы факторов, влияющих на перспективность означенных скоплений: гидродинамические, в т.ч. по работе фильтра по длине, факторы исходного распределения урана в разрезе и по латерали, наличия остаточных запасов в ячейках / панелях, факторы взаимоположения руд, фильтров и нижнего водоупора, факторы интенсивности отработки рудных интервалов. На

данном этапе работ уже можно говорить об определении вероятного местоположения застойных зон в разрезе и в плане, что достигается как расчетными методами, так и с помощью создания плановых моделей гидродинамики (линий тока и действительной скорости фильтрации). Также важным является локализация наиболее перспективных ячеек (частей рядной панели) для выявления гравитационной миграции технологических растворов.

Таким образом ведущиеся на контрактной территории ТОО СП «Южная Горно-Химическая Компания» работы представляют несомненный интерес для недропользователей, использующих метод ПСВ, с позиции более рационального и полного использования природных ресурсов, повышения коэффициента извлечения и даже расширения минерально-сырьевой базы предприятий. Ожидается, что результаты, полученные после проведения работ по выявлению техногенного оруденения на участке Ближний, помогут с высокой вероятностью восполнить МСБ действующего рудника и обеспечить в течение 2-3 лет нормативный объем добычи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Technical Report on Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials from Uranium Mining. Volume 2: Investigation of Potential Health, Geographic, And Environmental Issues of Abandoned Uranium Mines.// U.S. Environmental Protection Agency Office of Radiation and Indoor Air Radiation Protection Division. Washington, Published on-line as Vol. 2 of EPA 402-R-05-007, August 2007.
2. ***Рыбников П.А., Рыбникова Л.С.*** Гидрогеохимия техногенных процессов разрабатываемых и ликвидированных медноколчеданных месторождений Среднего Урала // Материалы 2-й Всероссийской конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами», г.Владивосток, 06-11 сентября 2015. с. 503-507.
3. ***Норкулов Д.Н.*** Экономические, социальные и экологические последствия разработки техногенных месторождений // XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Москва, 05-07 апреля 2017 года.
4. ***Санакулов К.С., Шеметов П.А.*** Ресурсосберегающие технологии переработки минерального сырья техногенного происхождения. // Горный вестник Узбекистана, июнь 2009 г. с. 21-26.
5. Материалы II международной научно-практической конференции Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений», г. Екатеринбург, 2-4 декабря, 2015 г
6. ***Сытенков В.Н., Наимова Р.Ш.*** Разработка принципов, приемов и критериев оценки рационального использования техногенных ресурсов. // Горный вестник Узбекистана, №2 2010 г. с. 26-29.
7. Отчёт о научно-исследовательской работе «Выявление и отработка техногенных и останцовых руд на месторождении «Акдала» участок Ближний». ЭТАП 1. Разработка методики оценки, выявления и отработки техногенных и останцовых руд на месторождении «Акдала» участок «Ближний» (окончательный)». ТОО «ЭлитСтройПроект-КС» по Договору 363-16 (13/ЭСП-16) от 14.09.2016 г. Алматы, 2016 год.
8. Отчет о результатах детальной разведки уранового месторождения Акдала за период 1982-2003, с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2003 по контракту 647 от 28.03.2001, АО Волковгеология, Алматы, 2003.

9. ***Кожахметов С.К., Поезжаев И.П. и др.*** Исследование законтурного закисления / выщелачивания методами моделирования гидродинамики и массопереноса. //Актуальные проблемы урановой промышленности, VII МНПК. Алматы, 2014, с. 161-174.
10. ***Носков М.Д., Теровская Т.С., Кеслер А.Г., Бабкин А.С.*** Влияние добычи урана методом скважинного подземного выщелачивания на экологическое состояние подземных вод // Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Федеральное государственное унитарное предприятие «Издательство Дальнаука». Владивосток, 06-11 сентября 2015 г. с. 499-502.
11. ***Усманова Т.В., Рихванов Л.П.*** Отходы предприятий ядерно-топливного комплекса как техногенные месторождения // Вестник Томского государственного университета. Сер. Науки о Земле. - 2003. - № 3 (V). - с. 223-224.
12. ***Усманова Т.В.*** Минеральные ресурсы юга центральной сибири: причины формирования, классификация и воздействие на компоненты природной среды. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск-2014.
13. ***Крайнов Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.*** Геохимия подземных вод: теоретические, прикладные и экологические аспекты // Рос. акад. наук, Ин-т геохимии и аналит. химии им. В. И. Вернадского; отв.ред. Н. П. Лаверов. М.: Наука, 2004. 676 с.

«СЕМІЗБАЙ» КЕНОРНЫНДАҒЫ УРАНДЫ ЖЕРАСТЫ ШАЙМАЛАУ ҮДЕРІСТЕРІНДЕГІ РАДИОТОЛҚЫНДЫ ГЕОИНТРОСКОПИЯ

Батиев Р. А., Алтынбек А.Д.
«Семізбай-U» ЖШС, Астана, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Уранды ұңғымамен жерасты шаймалау тәсілімен қазудағы кездесетін өзекті мәселелерді ұңғыма аралық кеңістікті радиотолқынды геоинтроскопия көмегімен шешу қаралған. «Семізбай» гидрогенді уран кенорны жөнінде қысқаша мәлімет берілген. Радиотолқынды геоинтроскопия әдісін «Долматово», «Хиагда» және «Семізбай» кенорындарында сынау туралы материалдар көрсетілген. Ұңғыма аралық кеңістікті радиотолқынды геоинтроскопия әдісімен зерттеуді қолданғанда мақсаттар мен міндеттерді қою мысалы келтірілген.

Түйін сөздер. Уран, уран кенорны, жерасты шаймалау, радиотолқынды геоинтроскопия, ұңғыма аралық кеңістік, ерітінді, геоэлектрлік қасиет.

Уран «Семізбай» кенорнында тиімді әрі экологиялық тұрғыдан барынша қауіпсіз болып табылатын ұңғымамен жерасты шаймалау (ЖШ) тәсілімен қазылуда. ЖШ тотықтандырғышты (күкірт қышқылының судағы ерітіндісі) өнімді пласттан өткізу арқылы уран қосылыстарын еритін жағдайға келтіру қағидаттарына негізделген. Жер бетінде құрылған ұңғымалар жүйесі және олардың жерүстілік құбырлық әрі технологиялық байланыстырылуы ураны бар ерітінділерді жер бетіне шығару көмегімен уран қазуды іске асыруға мүмкіндік береді. Уран қазудың тиімділігі едәуір мөлшерде тау-кен массасының тотықтандырғыш ерітіндісімен өңделу сапасына байланысты.

«Семізбай» кенорны гидрогенді түрге жатады. Негізгі геологиялық құрылым – аттас эрозиялық-тектоникалық депрессия болып табылады. Ол, аллювиалды-пролювиалды гендік түрден тұратын терригенді мезозойо-кайнозой шөгінділерінен құралған көне, ұзақ уақыт дамыған жазықтық.

Кенорындарын барлау, сонымен қатар ұңғымаларды құру мен кен телімдерін пайдалану үстінде блоктарға бөлу кезінде ұңғымаларды геофизикалық зерттеу кешені, оның ішінде кедергілер каротажы (КК) қолданылады. КК каротажының мәліметтері ұңғыма кескінінің литологиялық-стратиграфиялық және фациалды-литологиялық құрылысы, сонымен бірге тау-кен жыныстарының геоэлектрлік шамалары туралы түсінік қалыптастырады. ЖШ уран кенорындарының геофизикалық жұмыс тәжірибесі көрсететіні, тау-кен жыныстарының геоэлектрлік қасиеті оның барынша әртарапты әрі көп мәліметті мінездемесі болатынында.

Дегенмен, уран кенорындарының ЖШ әдісімен қазу тәжірибесі негізгі шешімін таппаған мәселемен қатар келеді. Ол мәселенің түйіні – пайдалы өнімнің өзіндік құнын төмендету, оны мейлінше толық алу және тотықтандырғышты оңтайлы жұмсау үшін ұңғыма аралық кеңістіктегі пласт құрамы туралы жеткілікті мәліметті алу мүмкіндігінің жоқтығы. Бұл мәселе өзенді палеожазықтықтарда түзілген кенді рудалары мен жыныстары литологиялық әркелкілік арқылы сипатталатын уран кенорындарында аса өзекті болып қалуда. Қолданылып отырған КК каротажы, ұңғыманы салу кезінде ғана, яғни

«ашық ұңғыманың» кескіні және оның өне бойында кенді рудалар мен жыныстардың литологиялық қасиетін алғашқы ондық сантиметрлер тереңдігінде ғана сипаттауы мүмкін. Ұңғыманы тірек колоннасымен және сүзгімен жабдықтау КК каротажын қайта жүргізуге мүмкіндік бермейді.

Шаймалау үдерістерін бақылау индукциялық каротаж (ИК) көмегімен жүргізіледі. ИК каротаж ұңғыма кескіні бойындағы геохимиялық жағдаяттың өзгеруі мен тотықтандырғыштың таралуы туралы мәлімет береді. Бұл каротаж мәліметі де пласт бойынша алғашқы ондық сантиметрлер тереңдігінде ғана болуы кәдік.

Өнімді қабатты қышқылдандыру және уранды алу сатылары біркелкі жүрмейді. Ол үдерістер су және тотықтандырғыш өтімді қабаттарда тез жүреді. Тотықтандырғышты кенді рудалар қабатына жеткізу мәселесі олардан пайдалы өнімді алу не алмауға тікелей байланысты. Кенорнын белсенді шаймалау кезеңінде әйгілі болатыны, су өтімділігі төмен қабаттар тотықтандырғышпен өңделмей және ол аймақтарды алынбаған қорлар қалатындығы. Міне осы ЖШ-дың негізгі түйінді мәселесі, бәрінен бұрын айту керектігі, осы, тотықтандырғышпен өңделмей қалған қабаттардың өлшемі мен олардың ұңғыма аралық кеңістіктегі орналасуы жөнінде мәліметтің жеткіліксіздігі геотехнологиялық үдерістерді қиындатады.

Айнымалы электромагниттік алаң үшін ұңғыманың полиэтилен тірек коллоннасы экран болып табылмайды, бұл геофизиканың электромагниттік әдістеріне жыныстардың алғашқы электр кедергісінің өзгеріске ұшырауын зерттеуге, тотықтандырғыштың таралу үдерісін мониторинг жасауға кең мүмкіндіктер ашады. ЖШ тәсілімен өңделетін кенорындары үшін радиотолқынды сәулелендіру әдісі әлеуетті мүмкіндіктерге ие. Жалпы алғанда, оның көмегімен кенорнының қазылу үдерісінің кеңістіктік-уақыт мониторингін және біршама жанама мәселелерді шешуге болады.

Радиотолқынды сәулелендірудің алғашқы тәжірибесі рудалы кенорындарында және мәңгі мұзжамылғы жыныстарда А. А. Петровскийдің басшылығымен 1920-1930-жылдар аралығында жүргізілді. Бұл бағыттағы зерттеулерді 1940-жылдардың орта шенінде Тархов А.Г. сынды, ал жопасрлы түрде 1954-жылдан Даев Д.С. пен Хмелевской В.К. жалғастырды. 1960-1980-жылдары атқарылған теориялық және эксперименттік жұмыстарды да атап өтуге болады (Петровский А.Д., Савицкий А.П., Морозова О.М. және басқалары).

Әдістің мүмкіндіктерінің едәуір кеңейуіне Гуревич Г.Ф. и Борисовтың Б.Ф. анизатропты ортада салыстырмалы түрде төмен радиожиілікті қолданған «алыс радиосәулелендіру» әзірлемесі әсер етті. Осы әдістің дамуына ЖШҚ «Радионда LTD» (В.А. Истратов және басқалар) әзірлеген РТГИ әдісімен көлемді геолектрлік карталау технологиясы үлес қосты. 2003-жылдан бастап аталған технологияны Ресейдің уран кенорындарының геотехнологиялық жағдайларына бейімдеу басталып кетті.

«ДАЛМАТОВО» УРАН КЕНОРНЫНДА РТГИ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ.

Экспериметті зерттеу нысаны ретінде Шығыс телімінің №8 блогы алынды. РТГИ екі кезеңде жүргізілді, тотықтандырғышты беру алдында және соңында. Ұңғыма аралық радиотолқынды зерттеу қышқылданған блоктың 72 қимасы бойынша өтті. Нәтижесінде

тиімді кедергілердің көлемді 3D-геоэлектрлік картасы мен қималары құрылды. Қималарды салыстыру су өткізгіштігі жоғары құмдардың күкірт қышқылының ерітіндісімен қанығуы, олардың электрлік кедергісін сазға тән деңгейден төмендететінін дәлелдейтін қышқылдандыру моделін растады. Зерттеулер, қышқылды ерітінділердің сору ұңғымасына негізінен аралық сазды сутіректен биік орналасқан су өтпелі интервал арқылы келгенін дәлелдеді.

«ХИАГДА» УРАН КЕНОРНЫНДА РТГИ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ

РТГИ №5 блокта 160 метр тереңдікте 30 қимасы бойынша жүргізілді. 12 айдан соң осы қималарда өлшеулер қайталанды. Геоэлектрлік карталарда көрсетілгендей, геоэлектрлік жағдаят өзгермеді. Бұл, осы зерттелген блоктың, 61 -63 ұңғымалар линиясынан біршама жоғары тұрған көршілес блоктың қатарынан бірнеше жыл қазылып келе жатқандығына және ол блоктан қышқыл ерітінділердің таралуына байланысты болды. РТГИ бірінші кезеңінде жасалынған осы тұжырым, ұңғымалардың технологиялық сынамаларымен дәйектелді. Мұнда атап өтуге болатыны, РТГИ әдісін бақылаушы ұңғымаларда технологиялық ерітінділерді қадағалау үшін қолдануға болатындығы. Бір жылдан кейінгі өлшеулер, тотықтандырғыштың кеңістіктегі таралу геоэлектрлік картасын уақыт тұрғысынан алып қарауға мүмкіндік берді.

Сонымен қатар 66, 67 және 71 ұңғымалар аймағында осы уақыт аралығында жыныстардың электр кедергісі аз өзгеріске ұшырағаны байқалды. Осы аймақ тотықтандырғышпен өте аз мөлшерде өңделген, себебі бұл аймақ су өтімділігі өте аз жыныстардан құралғанын көрсетті. 67 және 71 ұңғымалардың дебиті нашар болды, тиісінше олар 66 сору ұңғымасының жұмысына оң әсер бермеді, кейіннен оларды пайдалану тоқтатылды.

Қорыта айтқанда, РТГИ нәтижесі бұл аймақты қышқылмен тиімсіз өңдеуді тоқтатуға және күкірт қышқылын ысырап етпеуге негіз болды.

«СЕМІЗБАЙ» УРАН КЕНОРНЫНДА РТГИ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ

«Семізбай» кенорнында ұңғыма аралық РТГИ өлшемдері №68 және №70 блоктардың 60 ұңғымасында 149 қима бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстары есебінде жүргізілді.

Ғылыми-зерттеу жұмыстары бойынша келесі мақсаттары ретінде айқындау қойылды:

- ұңғыма аралық кеңістікті РТГИ әдісімен зерттеуде тиімді радиотолқын жилігін анықтау;
- жаңадан құрылған блокқа тотықтандырғыш бермей тұрып, кенді қабаттың литологиялық-фациалдық сипаттамаларын 25 метрлік шаршы бойынша зертегенде әдістің тиімділігін бағалау;
- пластты технологиялық ұңғымалардың қатарлы схемасымен ашу кезінде кенді қабаттың ұңғыма аралық кеңістігінде тотықтандырғыштың таралу аймағының көлемді картасын жасауда әдістің тиімділігін бағалау.

«Семізбай» кенорнында РТГИ әдісімен ұңғыма аралық кеңістікті зерделеу үшін 61 кГц және 156 кГц жиіліктері таңдалды. Өлшемдер көрсеткендей, 61 кГц жиілігінің егжей-

тегжейлігінің аздығы, «орташаландыруға» көп бейімділігі анықталды. Бұл салдар келесі факторларға байланысты болды: зерттеулердің жиілігінің азаюы, екі ұңғыма аралығының ұзаруы, Френель аумағының ұлғаюы. Нәтижесінде, болашақ зерттеулерді жүргізу үшін 156 кГц жиілігі тиімді деп танылды.

РТГИ ӘДІСІН ЖШ ҮДЕРІСТЕРІНДЕ ҚОЛДАНУДЫҢ МАҚСАТТАРЫ МЕН БОЛАШАҒЫ

Ұңғыма аралық кеңістікті РТГИ әдісімен зерттеу келесі міндеттерді шеше алатыны айқындалды:

- көрші ұңғымалардың арасын каротаж мәліметтері бойынша корреляция жасау арқылы салыстырғанда ұңғыма аралық кеңістіктіктегі сүзгілік сипаттамалардың нақтылығын анықтауды арттыру үшін зерттеулерді (КК, ИК қоса алғанда) тотықтандырғыш беру алдында жүргізу керектігі. Бұл, пластта тығыз және нашар су өтімді жыныстар аймақтарын анықтауға әрі оқшаулауға және тотықтандырғышты оңтайландыруға мүмкіндік береді.
- кенүсті/кенасты қойнауқабаттардың тау-кен жыныстарының геоэлектрлік құрылымын түбегейлі білу және жағдаятын бағалауға болатындығы. Бұл міндет тектоникасы күрделі, сутірегі тұрақты емес қабаттары бар, не ол мүлде жоқ кенорындары үшін аса өзекті болып саналады.
- РТГИ әдісі тотықтандырғышты берген соң, оның ұңғыма аралық кеңістікте таралу динамикасын зерттеуге және шаймалау үдерісіне тартылмаған аймақтарды анықтап, одан соң қазу үдерісінің гидродинамикалық схемасын уақытында өзгертуге мүмкіндік береді.
- технологиялық ерітіндінің контур сыртына кетіп қалуын және оның қазылып жатқан нысаннан тыс жиналуын учаске периметрінен тыс құрылған бақылаушы ұңғымалар арқылы табуды қамтамасыз етеді;
- технологиялық ерітіндінің құбыр сыртына және оның ұңғыма аралық кеңістікте су өтімділігі жоғары аумақтарға кетіп қалуын табуға әрі оқшаулауға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта РТГИ әдісімен зерттеулер «Семізбай» кенорнында жалғасуда. Алдағы уақытта, РТГИ әдісінде қолданылатын геофизикалық аппараттардың жаңа мүмкіндіктерін іздеу, кенорнының жағдайына бейімделу түзімдерін жасау, әдісті қолданудың жаңа техникалық және технологиялық әлеуеттерін табу атқарылуда.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. ***Петровский А.Д.*** Радиоволновые методы в подземной геофизике, 1971, М., Недра, с. 290.
2. ***Истратов В.А., Скринник А.В., Перекалин С.О.*** Новая аппаратура для радиоволновой геоинтроскопии горных пород в межскважинном пространстве «РВГИ-2005» // Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. № 1. 20-26 с.
3. ***Истратов В.А., Колбенков А.В., Перекалин С.О., Скринник А.С.*** Радиоволновой метод мониторинга процесса подземного выщелачивания на месторождениях урана // Геофизика. 2010. № 4. 59-68 с.

ГИДРО-ПНЕВМО УДАР НА ПЛАСТ

[1]Өмірғали А.Қ., [2]Мушрапилов А.А.
[1]АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан
[2]АО «Волковгеология», Астана, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при проведении освоения технологических скважин, предназначенных для подземного выщелачивания урана, в АО «Волковгеология» применяется «Установка освоения скважин УОС-700М» (в дальнейшем УОС) для промывки скважины сборки УПТОК АО «Волковгеология» и компрессора для эрлифтной откачки. Промывка осуществляется с целью очистки забоя и фильтров скважины от шлама, песка и других механических взвесей.

Предлагаемый метод освоения технологических скважин «Гидро-пневмо удар на пласт» направлен на повышение производительности при проведении работ по освоению малодебитных скважин и ремонтно-восстановительных работ (РВР).

ЦЕЛЕВОЕ НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТ

Эффективность эксплуатации месторождений урана, отрабатываемых методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), существенно зависит от состояния геотехнологических скважин. В процессе эксплуатации этих скважин в большинстве наблюдается снижение дебита (а также приемистости и пористости продуктивного пласта), обусловленное отложением на теле фильтров и в прифильтровой зоне кольматирующих образований химического происхождения, твердых частиц (алевролиты, алевриты, пески).

- оставшихся в результате промывки фильтровой зоны при освоении скважины, и образованием песчаной пробки в фильтре вследствие суффозии;
- суффозия – вынос подземными водами из горной породы мельчайших частиц следующих типов:
  - вымывание растворимых солей (химическая суффозия);
  - вымывание частиц грунта с разрушением микроагрегатов коагулированных глинистых частиц (коллоидная суффозия).

Для решения данных проблем при ПСВ возникает необходимость в проведении целенаправленных мероприятий по восстановлению дебита геотехнологических скважин и повышению межремонтного цикла (МРЦ). Основная задача при восстановлении дебита – удаление песчаной пробки из тела фильтра, а также кольматирующих химических образований с поверхности фильтра и прифильтровой зоны.

Целевым назначением работы является совершенствование методики и технологии освоения технологических скважин и РВР, в основном малодебитных скважин, а также сокращение различных непроизводительных затрат, путем применения методики «Гидропневмо удар на пласт», которая подразумевает собой создание давления в верхней части колонны путем подачи сжатого воздуха через герметично установленный устьевой распределитель потоков на скважине, последующего полного сброса созданного давления, тем самым способствует повышению производительности скважин.

СУЩЕСТВУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫВКИ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

Для промывки скважины используется «Установка освоения скважины УОС-700М» (УОС) которая состоит из: насоса НБ-32, насадок (с прямым отверстием для промывки отстойника и боковыми отверстиями для промывки фильтров и ствола скважины) устанавливаемых на гибкую трубу из ПНД ø40 мм, намотанную на барабан с вращателем.

Промывка осуществляется путем поэтапного спуска прямых и боковых насадок в скважину и подачи промывочной жидкости с производительностью насоса 150-180 л/мин и давлением, не превышающим 25-30 атм. Промывка и освоение малодебитных скважин достигает до 120 часов.

По окончанию этапа промывки скважины, производиться освоение скважин методом эрлифта, путем заглубки воздухоподающего шланга компрессора на глубину равную не менее трех статических уровней воды в скважине. Скважина осваивается не менее 24 часов. В случае не достижения требуемого дебита, производиться повтор этапов промывки и освоения скважины, что влечет за собой непроизводительные затраты труда и материалов.

НОВЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИН

Для решения вышеуказанной проблемы авторами был предложен новый метод под названием: «Гидро-пневмо удар на пласт».

Гидро-пневмо удар на пласт подразумевает собой создание давления в верхней части колонны путем подачи сжатого воздуха через герметично установленный устьевой распределитель потоков на скважине, последующего полного сброса созданного давления. При создании давления сжатым воздухом повышается пластовое давление, затем при быстром сбросе сжатого воздуха, в скважине происходит понижение давления ниже пластового, что приводит к депрессии в прифильтровой зоне, тем самым разбивается образованная в процессе бурения глинистая корка, что приводит к восстановлению естественной проницаемости пород.

Согласно справочным данным пластовое давление вычисляется, из расчета 0,1 МПа на 10 метров глубины скважины, соответственно пластовой давление жидкости на скважинах где проводились опытные работы составляет 6,4 МПа, при расчете которого учитывались глубина скважин (650 м) и статический уровень столба жидкости (10 м).

Давление на стенки обсадной колонны с учетом наличия столба жидкости как внутри колонны, так и в затрубном пространстве в состоянии спокойствия составляет 0 МПа. При проведении опытных работ сжатый воздух, подаваемый через герметично установленный устьевой распределитель рабочих потоков создает дополнительное давление в скважине в 2 МПа.

Согласно ГОСТ Р 52134-2003 проведен расчет прочностных характеристик обсадных труб НПВХ (PVC-U).

Таблица №1. Пп. 5.1.2 стойкость труб НПВХ (PVC-U) при постоянном внутреннем давлении

Температура испытаний, °С	Время испытаний, ч, не менее	Начальное напряжение в стенке трубы, МПа
20	1	42
	100	35
60	1000	10

Расчет максимально допустимого напряжения в стенке трубы σ_0 при переменном температурном режиме с помощью правила Майнера

Расчет напряжения σ_0 в стенке обсадной трубы из НПВХ:

Коэффициенты запаса прочности при температуре $T_{раб}$ = 70 °С составляет С = 1,5 Определение σ_0 проводится путем последовательной аппроксимации. Задаем расчетное напряжение в стенке трубы σ_0 = 2,0 МПа. Получаем следующее значение напряжения: для $T_{раб}$ $\sigma = C \times \sigma_0 = 1,5 \times 2,0 = 3,0$ МПа.

Пользуясь графиками, представленными в приложении В ГОСТ Р 52134-2003, определяем время tраб которое труба может выдержать, не разрушаясь при непрерывном действии, и напряжении σ в стенке, согласно графику в рисунке В.11 Приложения В ГОСТ Р 52134-2003 время до разрушения трубы при напряжении σ = 3,0 МПа составляет 100 лет. Данный метод ввиду его кратковременности не оказывает существенное влияние на сокращение срока службы обсадных труб.

Опытные работы показали, что понижение давления (депрессия) в скважине происходит за счет выброса столба жидкости при резком сбросе давления в верхней части обсадной колонны. Выброс составил более 0,5 м^3 столба жидкости, что при расчете через пластовое давление показал депрессию в скважине на 1,0 МПа, а общее разряжение давления равняется 3,0 МПа с учетом выброса сжатого воздуха равного 2,0 МПа.

Согласно Справочнику бурения скважин на воду (Автор: Башкатов Д.Н., Сулакшин С.С., Драхлис С.Л., Квашинин Г.П. Издательство: Москва, Недра, 1979 г., стр. 483) при скоростях движения воды менее 0,8 м/сек размыва глинистой корки не наблюдается, а при скоростях движения воды 1 м/сек скорость размыва составляет 0,5 мм/час. А также глубина проникновения глинистых растворов из бентонитовых глин, при размере зерен песка в 1-1,25 мм и вязкости бурового раствора по СПВ-5 28 сек составляет 157 мм.

Для сравнения в таблице №2 приведены максимальные и минимальные давления в скважине при применении различных методик освоения скважин.

Таблица №2

№ п.п.	Наименование методов	Пластовое *p*, МПа	p_{max} создаваемое, МПа	p_{min} понижение, МПа	Общее разряжение *p*, МПа	*t* за которое создается разряжение, с	*V* движения жидкости, м/с
1	Гидро-пневмо удар	6,4	8,4	5,4	3,0	120	2,50
2	Аэрированная раскальмотация		7,0	5,4	1,6	120	1,33
3	Свабирование		7,4	6,3	1,1	60	1,83
4	Эрлифтное освоение		6,6	4,4	2,2	240	0,92

Принимая во внимание таблицу №2 наиболее высокий перепад давлений, а именно понижение и повышение давления в скважине, а также скорость движения жидкости оказывает метод предложенный авторами данного рационализаторского предложения.

Опытные работы по применению предложения проводились на скважине № 13-2-70Н УБР «Хорасан-2», где производительность (после традиционного освоения и переосвоения) составляла 2 м^3/ч, при норме 20 м^3/ч.

После проведения опытных работ на скважине и дальнейшего её освоения дебит поднялся до 20 м^3/ч., скважина была сдана заказчику.

Всего технология была применена на 5-ти скважинах филиала ГРЭ №23 и показала положительный результат, и является наиболее актуальным методом повышения производительности в настоящее время.

Вышеуказанная технология повышения производительности скважин методом обработка призабойной зоны гидро-пневматическим ударом успешно применяется на УБР «Хорасан-1» и «Хорасан-2» филиала ГРЭ № 23 и обеспечивает снижение непроизводительных затрат времени при сооружении технологических скважин.

ПРИНЦИП РАБОТЫ

При переосвоении скважин данным методом используется распределитель устьевой (схема технической оснастки прилагается к заявлению) и компрессор.

Этапы проведения работ по повышению производительности скважин методом гидравлического разрыва пласта путем подачи сжатого воздуха*:

1. на устьевом распределители рабочих потоков жидкости скважины закрывается кран DN100 для создания герметичности обсадной колонны;
2. перекрывается кран прямой подачи воздуха с компрессора;
3. подается сжатый воздух с давлением 20 кгс/см^2 через кран сброса со скважины, создавая тем самым давление в верхней части обсадной колоны;
4. сжатый воздух подается в течение двух – пяти минут создавая давление равной 12 кгс/см^2 в верхней части обсадной колонны, которое можно контролировать по показанию манометра компрессора;
5. затем открывается кран DN100, что приводит к депрессии в прифильтровой зоне;
6. процесс повторяется 5-6 раз.

*сжатый воздух в скважину подается для продолжения эрлифтного освоения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данный момент метод успешно применяется во всех филиалах АО «Волковгеология» и показывает повышение производительности работ по переосвоению малодебитных скважин.

По результатам проведенных экспериментальных и технологических работ по методике, считаем, что «Гидро-пневмо удар на пласт» является актуальной, так как позволяет повысить производительность работ при проведении переосвоения малодебитных скважин и РВР.

ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОВОЛНОВОЙ ГЕОИНТРОСКОПИИ МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

[1]Демехов Ю.В., [2]Истратов В.А.
[1]АО НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан
[2]ООО «Радионда СПВ», Москва, Россия

При разработке гидрогенных месторождений урана способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), добыча металла происходит только из пластов, в которые проникает технологический раствор. Поэтому подсчет запасов на таких месторождениях включает не только оконтуривание рудного тела по бортовому содержанию урана, но и выявление в нем проницаемых областей, доступных для обработки окислителем.

Проницаемость рудовмещающих терригенных пород определяется их глинистостью: чем выше глинистость – тем ниже проницаемость. Электрическое сопротивление пород также в основном обусловлено глинистостью: чем выше глинистость пород, тем ниже их электрическое сопротивление. Зависимость между глинистостью пород и их сопротивлением определяется эмпирически для каждого месторождения путем анализа данных электрического каротажа, кернового опробования и пробных откачек. На основе этой обратной корреляции создается литолого-фильтрационная модель месторождения и устанавливается осредненный количественный критерий – пороговое значение кажущегося электрического сопротивления. По этому критерию выделяются интервалы установки фильтров, проводится разделение руд на литолого-фильтрационные типы и подсчитываются извлекаемые запасы. На практике применяется только стандартный каротаж сопротивлений на постоянном токе КС. Однако у этого старого и, в целом, надежного метода, есть несколько недостатков. Его результаты сильно зависят от целого ряда факторов: диаметра скважины, сопротивления бурового раствора и пластовых вод, размера зонда, наличия и диаметра зоны проникновения. Существенные различия технологических условий в разведочных и эксплуатационных скважинах нередко приводят к несоответствиям между данными КС. При слабой электрической контрастности пород (от 10 до 50 Ом*м), в эмпирически полученных данных наблюдается достаточно большая дисперсия, что снижает надежность определяемого критерия.

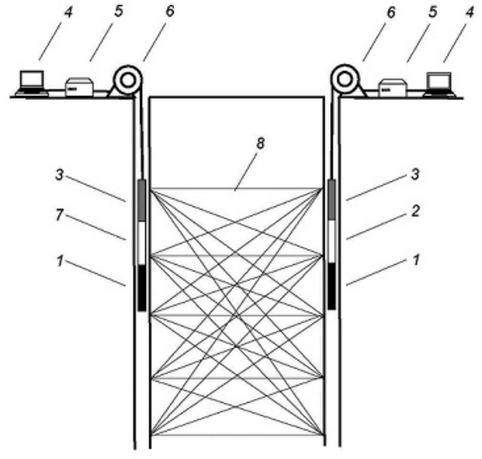
Сравнение диаграмм ρk, полученных по данным измерений до и после закисления, показывает, что эффективное сопротивление слабопроницаемых глин, в которые не проникла кислота, остается практически неизменным. Напротив, электрическое сопротивление проницаемых песков, ранее самых высокоомных, после замены пластового флюида раствором серной кислоты резко понижается до значений, заметно ниже уровня сопротивления глин. Таким образом, электрическое сопротивление пород после закисления полностью определяется содержанием в них кислоты. Для количественной оценки закисления можно предложить параметр $K_з = \rho_{п1}/\rho_{п2}$ (коэффициент закисления), где $\rho_{п1}$, $\rho_{п2}$ – сопротивление пород до и после закисления.

Небольшая глубина исследований методами электрического каротажа не обеспечивает получение надежной информации о растекании окислителя в межскважинном пространстве. Многократные попытки построить объемные карты сопротивлений путем интерполяции данных методов каротажа показали, что результат будет зависеть от выбранного способа интерполяции и информационной ценности не имеет.

В целом, указанные недостатки применяемых электрических методов исследования скважин могут приводить к существенным ошибкам при подсчете запасов и сказываться на эффективности разработки. Достоверный контроль за фактическим растеканием растворов в литологически неоднородном межскважинном пространстве можно выполнить только методами скважинной геофизики.

Поэтому представляется необходимым дополнить существующий комплекс геофизических исследований методами исследования межскважинного пространства. Обсадка скважин ПВ полиэтиленовыми трубами, создает условия для решения этой задачи методом межскважинного радиоволнового просвечивания. Основным препятствием применению этого метода на урановых месторождениях ПВ до недавнего времени являлось низкое электрическое сопротивление песчано-глинистых водонасыщенных пород рудоносного горизонта, не позволявшее стандартной аппаратурой получить необходимую дальность просвечивания, особенно после закисления.

Разработанная в ООО «Радионда» современная цифровая высокочувствительная скважинная аппаратура РВГИ-07 (изготовитель - ООО «Тульский геофизический центр»), обеспечивает требуемую дальность просвечивания до 60 м в породах с сопротивлением в первые Ом*м при сохранении высокой разрешающей способности. Главной особенностью аппаратуры является наличие оптико-электрической связи автономных скважинных приборов с управляющим компьютером на поверхности. Это позволило разработать высокоэффективные резонансные скважинные излучатели на частотах 0,03-0.15 МГц с короткими (3-5 м) антеннами и обеспечить высокую чувствительность приемного канала (12 НВт). Измерения проводятся в каждом сечении между соседними скважинами по веерной (томографической) схеме на интервале рудовмещающего пласта с шагом 1 м (рис.1). Разработанная методика 3D-обработки на основе алгоритма волнового восстановления и технология объемного геоэлектрического картирования межскважинного пространства способом радиоволновой геоинтроскопии (РВГИ) позволяет получать достоверные 3D карты распределения электрических свойств пород исследуемого массива.



1 – антенна, 2 – ретранслятор, 3 – блок оптической развязки
4 – компьютер, 5 – ретранслятор, 6 – каротажный подъемник
7 – излучатель, 8 – лучи просвечивания.

Рисунок 1. Измерительная установка для радиоволновых измерений и схема «томографической» съемки РВГИ

Процесс разработки технологического блока способом СПВ можно условно разделить на несколько стадий:

— подготовка блока (бурение и освоение скважин, установка колонн и фильтров);
— закисление (подача растворов кислоты в закачные скважины);
— активное выщелачивание (откачка технологических растворов);
— доработка и вывод из эксплуатации (снижение концентраций, промывка маточными растворами).

Каждая из этих стадий характеризуется конкретными изменениями технологических и геоэлектрических условий и решаемыми задачами (рис.2). Основным фактором является подача в рабочий горизонт выщелачивающего реагента – раствора серной кислоты с начальной концентрацией 15-25 г/л. При таких концентрациях закисляющих растворов сопротивление хорошо проницаемых пород рудовмещающего горизонта падает в 10 и более раз. При этом, сопротивление высоко глинистых непроницаемых интервалов остается практически неизменным. Таким образом, прямая корреляционная зависимость электрического сопротивления пород от количества (концентрации) в них кислотного раствора является физико-геологической основой применения технологии РВГИ.

Рисунок 2. Стадии разработки урановых месторождений СПВ и задачи РВГИ

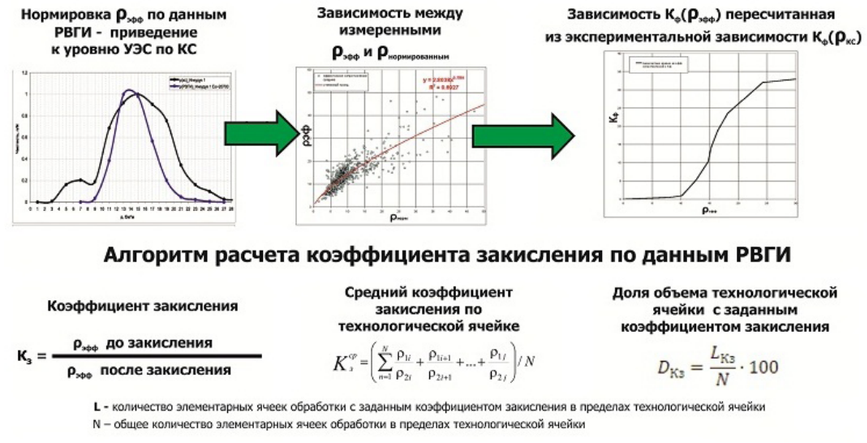


Рисунок 3. Алгоритмы пересчета эффективного электрического сопротивления РВГИ в технологические параметры

Для перевода получаемых 3D геоэлектрических карт эффективных сопротивлений РВГИ в технологические параметры, применяемые на рудниках ПВ, разработаны специальные алгоритмы, схематично представленные на рис.3.

На стадии подготовки технологического блока важной задачей является уточнение его литологического строения и фильтрационных характеристик. Поэтому основным интерпретационным параметром становиться расчетный коэффициент фильтрации. Для этого проводится детальное сравнение сопротивлений, полученных по данным каротажа КС и РВГИ, уточняется принятая литолого-фильтрационная модель и пороговое значение. На этой основе строятся 3D карты РВГИ в коэффициентах фильтрации (рис.4). На этих картах выделяются и оконтуриваются участки слабопроницаемых пород, которые могут внести существенные для рудничных геотехнологов корректировки в подсчет извлекаемых запасов. Эта карта, полученная до начала закисления, становиться базой сравнения для последующих режимных наблюдений РВГИ для мониторинга процесса разработки блока вплоть до его вывода из эксплуатации и оценки наличия остаточных технологических растворов.

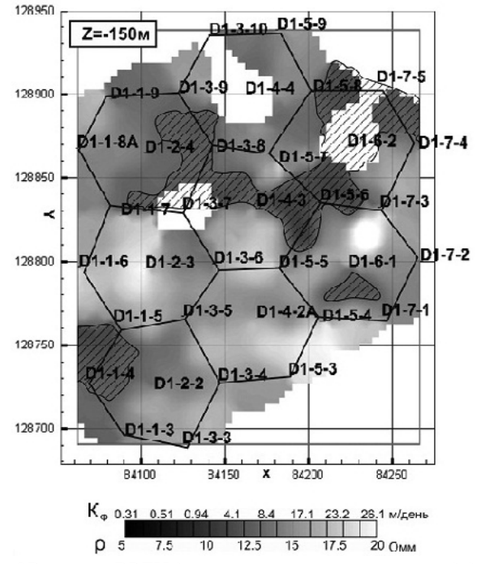


Рисунок 4. Фрагмент 3D карты РВГИ до закисления в изолиниях коэффициента фильтрации

Стадия первичного (пассивного) закисления характеризуются подачей в закачные скважины растворов кислоты высокой концентрации и продолжается в зависимости от сети расположения скважин от 70 суток (для сети с расстояниями 45-50 м) до 100 суток (для расстояний 60 м). Поэтому второй цикл измерений РВГИ целесообразно проводить через 60 – 80 суток от начала закисления блока. Измерения проводятся той же скважинной установкой, по той же схеме и объемах, что и до закисления. Единственным изменением является рабочая частота. Так как общее сопротивление рудовмещающих пород понижается в среднем в 2-5 раз, рабочая частота просвечивания должна быть адекватно снижена в 2-3 раза, чтобы обеспечить необходимую дальность. Уникальность аппаратуры РВГИ-07 заключается в том, что в каждом пункте излучения выполняется настройка излучателя, измеряется и записывается ток в излучающей антенне. Это позволяет привести все данные режимных наблюдений к единым условиям, изменить рабочую часто-

ту таким образом, чтобы сохранить прежнюю разрешающую способность и параметры элементарной ячейки в алгоритме волнового восстановления.

Оценить сопротивление раствора в породах и, соответственно, концентрацию кислоты при известной пористости можно через известную формулу Арчи. Однако, когда имеются измерения, выполненные как до, так и после закисления, изменение пористости внутри исследуемого объема пород совершенно не мешает количественной оценке закисления. В этих условиях для мониторинга главным параметром становится вычисленный из экспериментальных данных коэффициент закисления Кз, который является отношением сопротивлений пород до и после закисления.

Количественное сравнение данных 3D геоэлектрического картирования РВГИ до и после подачи окислителя представляется в виде 4D карты в значениях коэффициента закисления Кз (рис.5). Изменение названия карты на 4D отражает четвертую координату – время, за которое произошли выявленные изменения параметров. 4D карта дает представление о фактическом растекании кислотных растворов в межскважинном пространстве на данном этапе разработки.

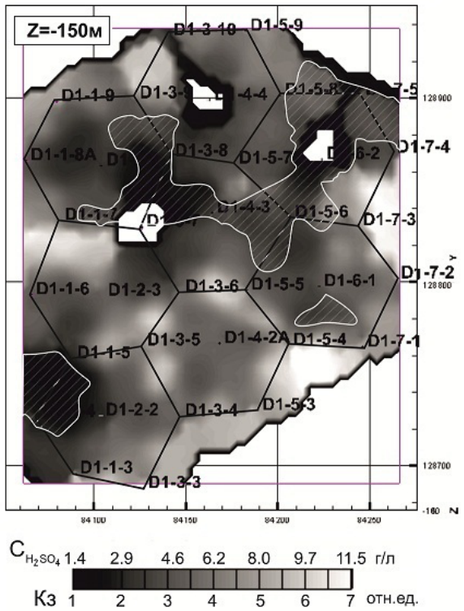


Рисунок 5. Фрагмент 4D карты растекания технологических растворов в изолиниях

Так как основным фактором, определяющим сопротивление пород после закисления, является количество кислоты, становится возможным использование электрического сопротивления для количественной оценки концентрации кислоты в породах. Используя каноническую зависимость удельного электрического сопротивления растворов от их концентрации, зная сопротивление технологического раствора, можно оценить степень его минерализации в эквивалентном содержании серной кислоты (вторая шкала на рис.5). Сопоставление представленных карт, полученных до и после закисления, показывает соответствие областей низких концентраций с ранее выделенными контурами слабопроницаемых пород. Это дает основание геотехнологической службе своевремен-

но обращать внимание на слабо проработанные участки и обоснованно вносить коррективы в плановые показатели добычи, основываясь на выявленные и ранее неучтенные особенности литологического строения залежи. При работе полигонов в режиме закисления оптимальными считаются растворы с концентрацией 15-20 г/л. На рис.6 представлена карта с изоповерхностью Кз=4.5, что для исследуемого участка соответствует значениям $Сн_2so_4 \geq 10$ г/л. По данной карте можно судить о степени проработанности исследуемого блока и, в частности, что на данном этапе кислотные растворы сосредоточены в основном на периферийных участках технологических ячеек.

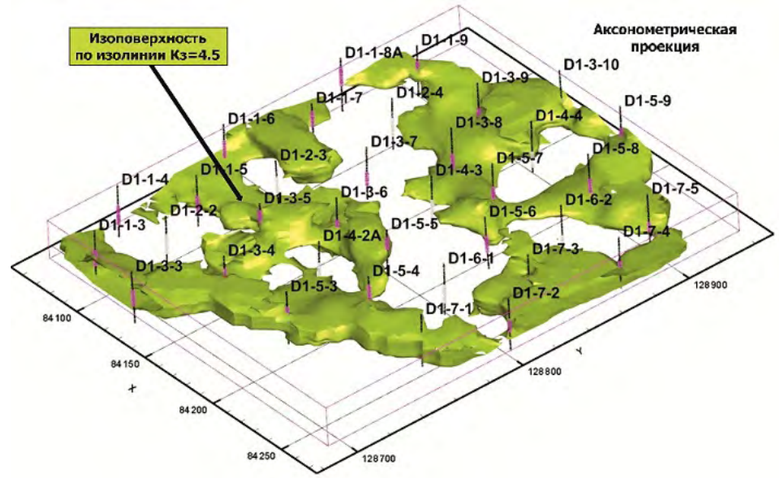


Рисунок 6. Фрагмент 4D карты растекания технологических растворов. Изоповерхность по значению Кз=4.5. Полигон «ПВ-1»

Для количественной оценки развития процесса закисления в конкретной технологической ячейке применяется методика, основанная на расчетах среднего коэффициента

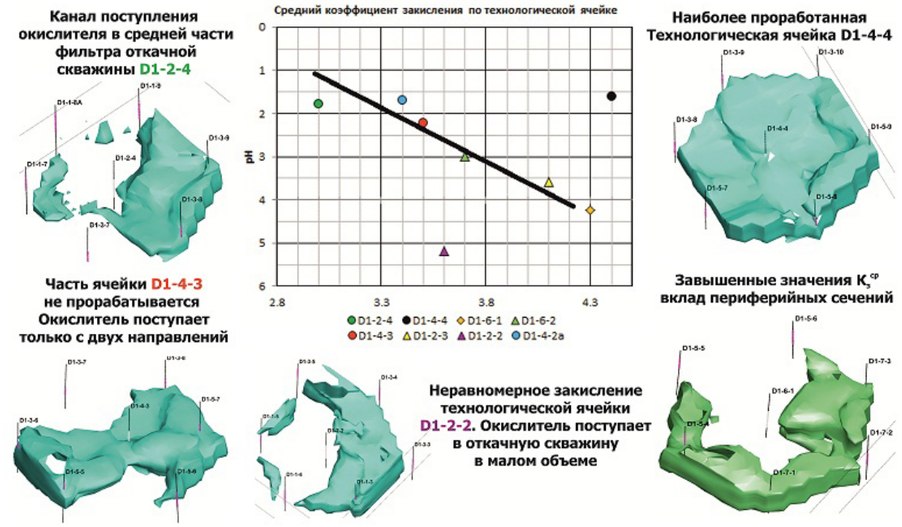


Рисунок 7. Сравнение технологических данных по откачным скважинам с результатами межскважинных исследований РВГИ на участке полигона «ПВ-1»

закисления $Кз_{ср}$ и расчета процентного соотношения плохо-, слабо-, средне- и хорошо-закисленных областей относительно общего объема заданной технологической ячейки – параметра $D_{Кз}$. Этот параметр выражает процентное содержание элементарных ячеек обработки РВГИ с заданным значением коэффициента закисления от общего объема рассматриваемой технологической ячейки, и рассчитывается по формуле, приведенной в таблице рисунка 3. Рассчитываемые значения сопоставляются со стандартными технологическими параметрами закисления в откачных скважинах (pH, CH_2SO_4 и др.). На их основе устанавливается обобщённая зависимость проработанности блока, выявляются отклонения и нарушения в равномерности развития процесса закисления по каждой технологической ячейке (рис.7).

Стадия активного выщелачивания характеризуется включением насосов в откачных скважинах. На этой стадии важно соблюдать гидродинамическое равновесие (баланс объемов закачиваемых и откачиваемых растворов) и равномерное по площади распределение растворов, так как неравномерная проработка блока приводит к значительному снижению технико-экономических показателей общего цикла работ. Для иллюстрации возможностей технологии РВГИ на этой стадии на рис. 8 приведены результаты режимных измерений РВГИ на блоке с рядной системой скважин: в центре – ряд откачных

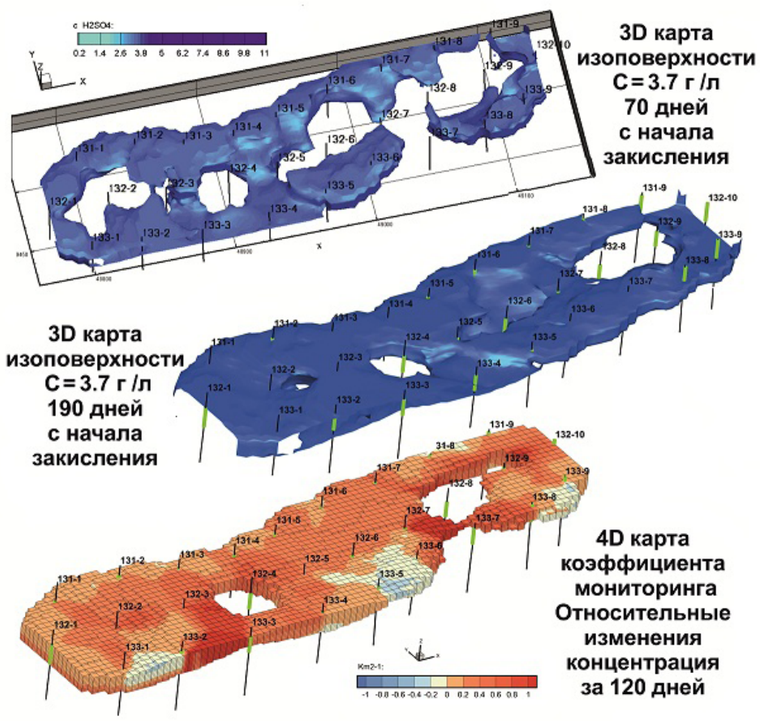


Рисунок 8. Результат 4D мониторинга РВГИ процесса закисления

скважин, по краям - ряды закачных скважин. Измерения выполнены в три цикла: до закисления, через 70 дней и 190 дней. На представленных картах видна характерная для рядной сети неравномерность развития процесса закисления в пространстве: наимень-

шие концентрации растворов и через 190 дней отмечаются в центральной части между откачными скважинами. Наиболее интересна 4D карта коэффициента мониторинга, характеризующая относительные изменения за 120 дней между вторым и третьим циклом измерений. По этой карте кратко отметим следующие моменты :

— «белое» пятно между скважинами 132-8 и 132-9 и 131-9 – незакисленная область, соответствующая линзе высоко глинистых пород. Эта линза была выделена и оконтурена на 3D карте РВГИ еще до начала закисления. Практическое отсутствие динамики закисления в этой области служит основанием для принятия технологических решений;

— область между закачными скважинами 133-5 и 133-6, в которой за 120 дней отмечено снижение концентрации раствора. Причиной этого эффекта является то, что до начала отработки блока эти закачные скважины использовались как полигон для пробного закисления и вокруг них образовались линзы высоких концентраций на границе блока. С включением насосов и переходе к активному выщелачиванию избыточная концентрация растворов стала снижаться и постепенно выравниваться по объему ячейки. Этот результат показывает, что технология РВГИ может быть использована для количественной оценки динамики процесса во времени, а на стадии доработки блока – для оценки качества проработки и отсутствия в межскважинном пространстве областей с остаточными концентрациями технологических растворов.

ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ результатов РВГИ с данными, полученными методами, используемыми в регулярной практике отработки месторождений СПВ (каротаж КС, ИК, химический анализ растворов и др.), показал их хорошее взаимное соответствие. Установленные корреляционные связи между интерпретационными параметрами РВГИ, электрическими свойствами пород продуктивного горизонта и технологическими данными (pH, концентрация кислоты) позволяют проводить их комплексную геолого-технологическую интерпретацию на принципиально новом уровне. Сочетание количественных показателей по скважинам с визуализацией процесса растекания растворов в межскважинном пространстве открывает перед технологической службой рудника новые возможности по управлению процессом разработки залежи, рациональному использованию кислоты, уточнению фактических объемов извлекаемых запасов.

Экспериментально достигнутые в геолого-технологических условиях рудников СПВ эффективная дальность просвечивания R=50 м и разрешающая способность (минимальный размер уверенно выявляемой неоднородности $D \leq 9$ м и точность локализации кромки $\delta \approx 3$ м) обеспечивают решение поставленных задач:

— уточнение литолого-фильтрационного строения технологических блоков с выделением и оконтуриванием областей слабопроницаемых пород;

— получение достоверной информации о фактическом растекании кислотных растворов в межскважинном пространстве;

— количественная оценка степени проработанности блока в заданный период времени и динамики отработки блока в пространстве и времени.

РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА БУРОВЫХ СКВАЖИН В ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Абдраимова Г.А., Бекенов Е.Т., Сергалиев А.С., Хаджиева Л.А.
КазНИТУ им. К.И Сатпаева, Алматы, Казахстан
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Работа посвящена развитию методом моделирования процесса бурения геотехнологических скважин добывающей отрасли и их анализа путем разработки современных математических моделей движения бурильных колонн и их визуализации. Исследуются скважины неглубинного бурения (до 500 м). Разработано комплексное решение задач по бурению скважин – разработка современных математических моделей движения бурового оборудования, анализ его упругих перемещений, резонансных режимов движения, их устойчивость и визуализация пространственного движения бурильной колонны.

Ключевые слова: буровая скважина, бурильная колонна, нелинейная модель, колебания, устойчивость движения.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных этапов в добыче природных ресурсов является прогнозирование и разведка минерально-сырьевой базы путем бурения скважин. С другой стороны, буровые скважины в настоящее время широко используются в современных бесшахтных (геотехнологических) методах добычи природного сырья. Поэтому интенсивность и эффективность освоения природных ресурсов напрямую зависят от успешности бурения скважин и их качества.

В настоящее время уделяется большое внимание исследованиям по моделированию процесса бурения скважин, различных по глубине и, соответственно, технологии бурения.

В данной работе рассматривается бурение скважин неглубинного бурения (до 500 м), когда бурение скважины осуществляется за счет вращения сжато-скрученной буровой штанги. Известно, что безаварийность работ по бурению скважин и их скорость во многом зависят от качества и совершенства буровых машин и инструментов, а успехи в этой области неразрывно связаны с новейшими научными разработками по расчету и проектирования бурового оборудования, повышения их технического уровня и надежности.

В связи с малой исследованностью задач динамики промышленного бурового оборудования и потребностями добывающей промышленности создание их современных математических моделей, в полной мере описывающих процессы, возникающих при бурении скважин с учетом действия многочисленных факторов геологической, технологической и технической природы, представляет научный и практический интерес.

Известно, что одним из главных факторов браковки скважин является ее искривление. Среди многочисленных причин искривления можно отметить неустойчивость прямолинейной формы буровой штанги, вызванную действием динамических поперечных воздействий, переменных осевых сил и крутящих моментов, больших инерционных сил, взаимодействием с окружающей средой, наличием начальной кривизны штанги, концентраторов напряжений и др.

Изучению динамики буровой штанги как обязательного элемента бурового оборудования, предназначенного для передачи крутящего момента и осевого усилия непосредственно к породоразрушающему инструменту, находящемуся на конце трубы [1], посвящены исследования многих авторов (рис.1). Среди них работы с наложением ограничений на величины деформаций бурильных колонн при их моделировании, то есть их малость [2-5, др.], что ведет к линеаризации модели. Другим допущением моделей является ограничение степеней свободы деформирования буровой штанги, то есть раздельное исследование составляющих их сложного пространственного деформирования, как это делают авторы работ [6-8, др.]. Все это вызывает ограниченность моделей и существенно сужает представление о реалистичности моделируемых процессов в системе «буровая штанга-скважина».

Анализ работ в данной области свидетельствует о малой исследованности проблем динамики бурового оборудования с учетом их упругих свойств, нелинейных осложняющих факторов и влияния окружающей среды. Среди известных работ по бурильным установкам можно выделить работы Саркисова Г.М., Сарояна А.Е., Барского И.Л, Рабиновича Н.Р., Юртаева В.Г., Юнина Е.К.[9-12] и др. Среди современных работ большой вклад внесла украинская научная школа под руководством Гуляева В. И.[3,13-15], большинство работ которых посвящены закручиванию бурильных труб. Широко известны фундаментальные работы зарубежных исследователей таких как: Nandakumar K., Wiercigroch M., Y. Khulief, F.A. Al-Sulaiman [16-21]. Тем не менее, вопрос моделирования динамики буровых колонн с учетом нелинейных деформаций и осложняющих факторов до сих пор является малоисследованным. К актуальным задачам можно также отнести проблемы стохастических процессов в бурильных колоннах.. При этом следует отметить, что ввиду сложности описания нелинейной динамики деформируемых буровых штанг проблемы прогнозирования их прочности, надежности, а также обеспечения устойчивости движения остаются одними из наиболее трудных и наименее разработанных.

В связи с чем, данная работа посвящена развитию современных методов моделирования движения буровых штанг, их анализа и визуализации с целью формирования «идеальной» скважины.

РАЗРАБОТКА НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ БУРОВЫХ ШТАНГ

Рассматривается пространственное движение буровой штанги как стержневого элемента (рис.2). Согласно обобщенной модели пространственного деформирования стержневого элемента Филиппова А.П. [24] перемещения любой точки стержня задаются как:

$$\begin{aligned} U(x,y,z,t) &= u_1(z,t) + u_2(z,t) + \theta(z,t)y, \\ V(x,y,z,t) &= v_1(z,t) + v_2(z,t) - \theta(z,t)x, \\ W(x,y,z,t) &= w(z,t) - \frac{\partial u_1(z,t)}{\partial z}x - \frac{\partial v_1(z,t)}{\partial z}y + \frac{\partial \theta(z,t)}{\partial z}\phi(x',y'), \end{aligned} \qquad (1)$$

где $u_1(z,t)$, $v_1(z,t)$ - перемещение центра изгиба поперечного сечения вдоль осей x, y вследствие изгиба; $u_2(z,t)$, $v_2(z,t)$ - вследствие сдвига; $\theta(z,t)$ - угол поворота сечения относительно центра изгиба при кручении; $u = \theta y$, $v = -\theta x$ - перемещения точек поперечного

сечения вдоль осей *x, y, w(z,t)* - поступательное смещение вдоль оси z; $\frac{\partial u_1(z,t)}{\partial z}, -\frac{\partial v_1(z,t)}{\partial z}$ - углы поворота сечений вокруг осей x и y, берущих начало на нейтральной оси стержня, при изгибе; $-\frac{\partial u_1(z,t)}{\partial z}x - \frac{\partial v_1(z,t)}{\partial z}y$ - перемещение точек поперечного сечения вдоль оси z; $\frac{\partial \theta(z,t)}{\partial z}\varphi(x',y')$ - перемещение точек поперечного сечения вследствие депланации. Ось z направлена вдоль оси стержня, а оси x и y лежат в плоскости сечения стержня.

При моделировании допускается конечность деформаций буровой штанги, т.е. снимаются ограничения на величины деформаций. При этом тензор деформаций, согласно теории конечных деформаций Новожилова В.В. [25] задается как нелинейная функция его составляющих. Модель строится на основе вариационного принципа Остроградского-Гамильтона, как физически наиболее строгого и математически обоснованного метода.

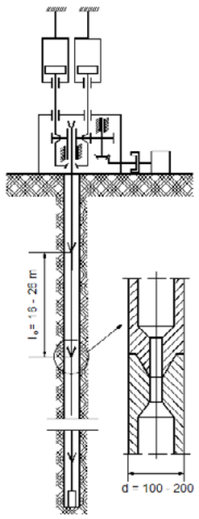


Рисунок 1. Кинематическая схема буровой машины

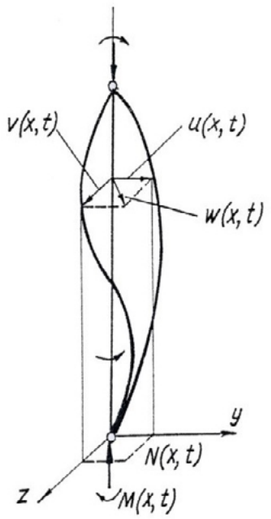


Рисунок 2. Форма изогнутой оси штанги

Пренебрегая депланацией сечения и перемещением центра изгиба поперечного сечения вдоль осей x, y вследствие сдвига, т.е. компонентами $u_2(z,t)$ и $v_2(z,t)$, построена для случая действия переменного крутящего момента M(x,t) и осевой нагрузки N (x,t) обобщенная нелинейная модель упругого движения буровой штанги, учитывающая все типы ее деформирования:

$$\rho A\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - \rho I_y\frac{\partial^4 u_1}{\partial z^2\partial t^2} - \rho I_{xy}\frac{\partial^4 v_1}{\partial z^2\partial t^2} + EI_y\frac{\partial^4 u_1}{\partial z^4} - EI_{xy}\frac{\partial^4 v_1}{\partial z^4} - \frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(M(t)\frac{\partial v_1}{\partial z}\right) - \frac{EA}{(1-\nu)}\times$$
$$\times\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^3 + \frac{\partial w}{\partial z}\frac{\partial u_1}{\partial z}\right] + \frac{EI_x(8-6\nu)}{8(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial u_1}{\partial z}\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2\right] - \frac{EI_y}{2(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\left(\frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{\partial v_1}{\partial z}\right)\right] - \frac{E(5-6\nu)}{2(1-\nu)}\times \quad (2)$$
$$\times\left(A\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial u_1}{\partial z}\left(\left(\frac{\partial v_1}{\partial z}\right)^2 + \theta^2\right)\right] + \frac{1}{2}I_{xy}\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial v_1}{\partial z}\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2\right]\right) - \rho A\omega^2 u_1 + 2\rho A\omega\frac{\partial v_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}\left(N(z,t)\frac{\partial u_1}{\partial z}\right) = 0,$$

$$\rho A\frac{\partial^2 v_1}{\partial t^2} - \rho I_x\frac{\partial^4 v_1}{\partial z^2\partial t^2} - \rho I_{xy}\frac{\partial^4 u_1}{\partial z^2\partial t^2} + EI_x\frac{\partial^4 v_1}{\partial z^4} - EI_{xy}\frac{\partial^4 u_1}{\partial z^4} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(M(t)\frac{\partial u_1}{\partial z}\right) - \frac{EA}{(1-\nu)}\times$$
$$\times\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\frac{\partial v_1}{\partial z}\right)^3 + \frac{\partial w}{\partial z}\frac{\partial v_1}{\partial z}\right] + \frac{EI_y(8-6\nu)}{8(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial v_1}{\partial z}\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2\right) - \frac{EI_x}{2(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\left(\frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{\partial v_1}{\partial z}\right)\right] - \frac{E(5-6\nu)}{2(1-\nu)}\times$$
$$\times\left(A\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial v_1}{\partial z}\left(\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^2 + \theta^2\right)\right] + \frac{1}{2}I_{xy}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2\right)\right) - \rho A\omega^2 v_1 - 2\rho A\omega\frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}\left(N(z,t)\frac{\partial v_1}{\partial z}\right) = 0,$$

$$\rho A\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - EA\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{EA}{2(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_1}{\partial z}\right)^2\right] - \frac{2EA\nu}{(1-\nu)}\theta\frac{\partial \theta}{\partial z} -$$
$$-\frac{EI_p}{8(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left(N(z,t)\frac{\partial w}{\partial z}\right) = 0,$$

$$\rho I_p\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} - \frac{2EI_p}{(1+\nu)}\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} - \frac{3EI_r}{8}\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^3\right] + \frac{EA}{(1-\nu)}\theta^3 + \frac{2EA\nu}{(1-\nu)}\theta\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{EI_p}{4(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial w}{\partial z}\frac{\partial \theta}{\partial z}\right] -$$
$$-\frac{EI_y(11-6\nu)}{8(1-\nu)}\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial \theta}{\partial z}\left(\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_1}{\partial z}\right)^2\right)\right] - \frac{EI_y}{4(1-\nu)}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{\partial v_1}{\partial z}\right)^2\right] - \frac{E(5-6\nu)}{4(1-\nu)}\times$$
$$\times\left(\frac{1}{2}I_p\theta\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2 + \frac{1}{2}I_p\theta^2\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} - 2A\theta\left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v_1}{\partial z}\right)^2\right] + 2I_{xy}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial u_1}{\partial z}\frac{\partial v_1}{\partial z}\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)\right) - \rho I_p\omega^2\theta = 0.$$

Здесь p – плотность материала, A – площадь сечения, E – модуль упругости Юнга, ν – коэффициент Пуассона, I_x, I_y – осевые моменты инерции поперечного сечения, I_p – полярный момент инерции поперечного сечения, $I_{ку}$ – центробежный момент инерции поперечного сечения.

Численный анализ модели (2), проведенный для случая шарнирного опирания буровой штанги, подтвердил конечность деформаций и необходимость рассмотрения колебательного процесса штанги в нелинейной постановке (рис.3-4). Установлено, что доминирующими колебаниями при бурении скважины являются поперечные колебания. Результаты исследований свидетельствуют об эффективности нелинейной модели и завышении расчетных данных для случая линейной модели (рис.3). Погрешности, выдаваемые линейными моделями недопустимы, так как приводят искажению реальных процессов, возникающих в результате бурения скважин.

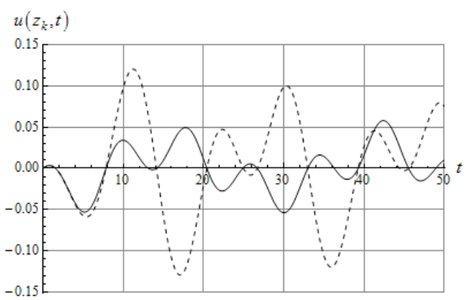


Рисунок 3. Сравнительный анализ линейной (– –) нелинейной (—) моделей движения буровых штанг

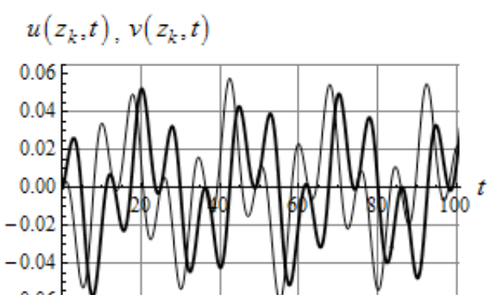
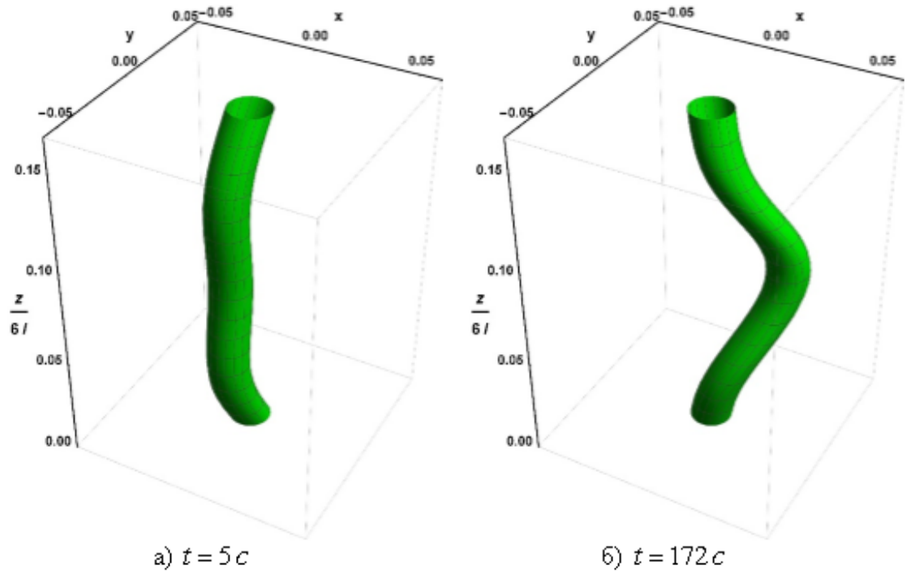


Рисунок 4. Поперечные колебания буровой штанги

Расчеты проводились для стальных штанг длиной l = 150 м; размерами сечения D = 0,2 и d = 0,12 м; вращающийся с угловой скоростью ω = 30 об/мин под действием продольной сжимающей нагрузки $N(t) = 0{,}1 \times 10^3 + 2{,}1 \times 10^3 \cos(\bar{\omega}t) \times H$ и крутящего момента $M(t) = 10^4 \times \cos(\bar{\omega}t) \times H \times м$ Рассматривалось поперечное сечение штанги, находящееся на расстоянии $z = (7/9) \times l$ м от ее верхнего конца.

Расчеты проводились в пакете символьных вычислений Wolfram Mathematica-11, который не имеет себе равных в большом диапазоне вычислений, а также уникальности поддержки своей современной среды и организации рабочего процесса для технических расчётов. На рисунке 5 представлены фрагменты анимации пространственного движения буровой штанги, свидетельствующие о значительных отклонениях вращающейся буровой штанги от прямолинейной формы ее первоначального состояния. Колебательные процессы в буровой штанге негативно влияют на формирование стенок скважины, что требует от разработчиков подбора правильной геометрии штанги и ее рабочих режимов.



а) $t = 5\,c$ б) $t = 172\,c$

Рисунок 5. Динамика упругого деформирования оси буровой колонны

Расчеты проводились для буровой штанги длиной l = 300 м, вращающейся с частотой ω = 5 об/мин, при этом ось z на рисунке масштабируется для удобства отображения результатов.

РЕЗОНАНСНЫЕ РЕЖИМЫ КОЛЕБАНИЙ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ

Выше отмечено наличие нелинейного фактора в исследуемых системах «буровая штанга-скважина», что свидетельствует о сложности происходящих колебательных процессов. Это требует дополнительных исследований модели и специального исследовательского аппарата, поскольку в рамках линейной теории колебаний подобные эффекты нельзя обнаружить в виду ее ограниченности. Ввиду того, что доминирующей составляющей в общей картине пространственных колебаний буровой штанги являются поперечные

перемещения, целесообразнее исследовать резонансные режимы этих колебаний, рассматривая их как частный случай общей модели (2).

Методом разделения переменных Бубнова-Галеркина модель с распределенными параметрами будет приведена к виду:

$$\begin{aligned} &\overline{u_1}''(\tau) + \bar{a}\,\overline{v_1}'(\tau) + a\,\overline{u_1}(\tau) + k\,\overline{u_1}(\tau)\cos(\Omega\tau) + b\,\overline{u_1}(\tau)^3 + d\,\overline{v_1}(\tau)^2\overline{u_1}(\tau) = c_1 + c_2\cos(\Omega\tau), \\ &\overline{v_1}''(\tau) - \bar{a}\,\overline{u_1}'(\tau) + a\,\overline{v_1}(\tau) + k\,\overline{v_1}(\tau)\cos(\Omega\tau) + b\,\overline{v_1}(\tau)^3 + d\,\overline{u_1}(\tau)^2\overline{v_1}(\tau) = c_1 + c_2\cos(\Omega\tau). \end{aligned} \quad (3)$$

Раскладывая решение (3) в ряд Фурье по спектру колебаний:

$$\begin{aligned} &\overline{u_1}(\tau) = r_{u_0} + r_{u_1}\cos(\Omega\tau - \varphi_{11}) + r_{u_2}\cos(2\Omega\tau - \varphi_{12}) + r_{u_3}\cos(3\Omega\tau - \varphi_{13}) + ..., \\ &\overline{v_1}(\tau) = r_{v_0} + r_{v_1}\cos(\Omega\tau - \varphi_{21}) + r_{v2}\cos(2\Omega\tau - \varphi_{22}) + r_{v_3}\cos(3\Omega\tau - \varphi_{23}) + ... \end{aligned} \quad (4)$$

методом гармонического баланса определены амплитудно-частотные характеристики резонансных колебаний, представленные на рисунках 6-7.

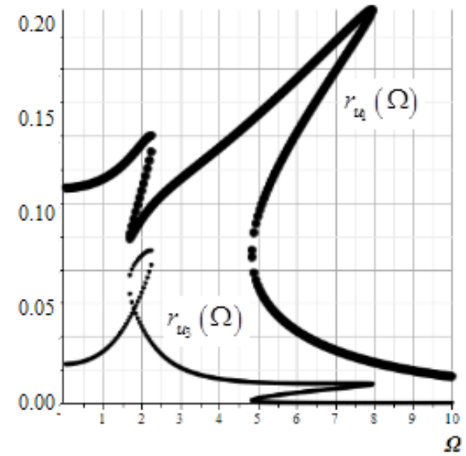


Рисунок 6. Основной резонанс (▬) и резонанс по 3-й частоте (—) стальной буровой штанги длиной 200 м

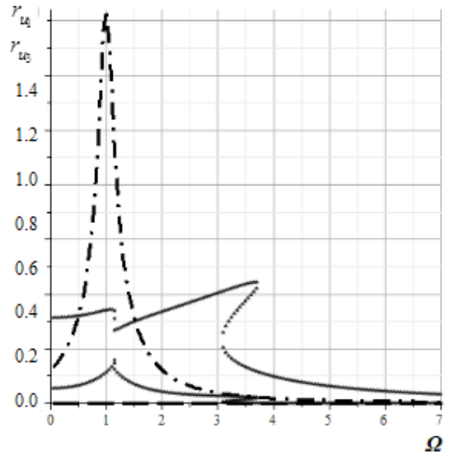


Рисунок 7. Сравнение основного резонанса штанги длиной 500 м для линейного и нелинейного случаев

Установлено существенное отличие в расчетных данных АЧХ основного резонанса для случая линейной и нелинейной моделей (рис.7). Уточнение модели за счет допущения конечности деформаций штанги приводит к уточнению зон появления резонанса. Наблюдается смещение резонанса в область больших частот, то есть классическое исследование линейной модели приводит к ошибочным результатам, что может повлиять на рабочие режимы буровых штанг. С другой стороны, нелинейность может привести к появлению резонанса на ультрагармонических частотах. В рассматриваемом случае – это резонанс по третьей моде (рис.6). Область его появления характеризуется как область бифуркаций резонанса по основной частоте (рис.6). Качественное и количественное подтверждение этого явления возможно при изучении устойчивости основного резонанса. Для этого исследуются уравнения возмущенного состояния модели (3). Используя для

этого теорию Флоке и исследуя уравнение типа Хилла, строятся характеристические определители, задающие области неустойчивости основного резонанса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе предложено комплексное решение задач динамики бурового оборудования добывающей промышленности с учетом нелинейных упругих свойств элементов. Оно направлено на устранение погрешностей в работе бурового оборудования, и надежности создаваемых скважин, что является одним приоритетных направлений современных исследований в области промышленного оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Сароян А.Е.*** Теория и практика работы бурильной колонны. – М.: Недра, 1990. – 263 с.
2. ***Мардонов Б.М., Марданова Л.О.*** О вынужденных колебаниях звеньев бурильной динамической системы // Поиск-Ізденіс. Серия естественно-технических наук. – 2001. – №1. – с. 217-220.
3. ***Гуляев В.И., Худолий С.Н., Борщ Е.И.*** Колебания кружения конструкции низа бурильной колонны. // Проблемы прочности. – 2010, №6. - с. 13-25.
4. ***Yigit, A.S., Christoforou, A.P.*** Coupled axial and transverse vibrations of oilwell drillstrings. // Journal of Sound and Vibration. – 1996. – Vol. 195 (4). – p. 617-627.
5. ***Christoforou, A.P., Yigit, A.S.*** Dynamic modeling of rotating drillstrings with borehole interactions. // Journal of Sound and Vibration. – 1997. – Vol. 206 (2). – p. 243-260.
6. ***Хаджиева Л.А., Умбеткулова А.Б.*** Об аппроксимации нелинейных колебаний сжато-скрученной буровой штанги при конечных деформациях // Известия НАН РК, серия физико-математическая. – 2014. – №1 (293). – с. 69-75.
7. ***Мардонов Б.М., Хаджиева Л.А.*** Исследование параметрических колебаний геометрически нелинейной бурильной колонны методом конечных элементов. // Тез. докл. VIII Казахст.-Росс. Межд. научно-практ. конф. «Матем. моделирование в научно-технол. и экологич. проблемах нефтегазовой отрасли». – Атырау, 20-21 июня 2014. – с. 85-86.
8. ***Khajiyeva L.A., Kydyrbekuly A.B., Sergaliyev A., Umbetkulova A.*** Simulation of Movement of Drill Rods at Large Deformations. Advanced Materials Research, Vol.702 (2013). Trans. Tech. Publications, Switzerland, pp. 253-258.
9. ***Саркисов Г.М.*** Расчеты бурильных и обсадных колонн. – М.: Недра, 1971. – 205 с.
10. ***Сароян А.Е.*** Проектирование бурильных колонн. – М.: Недра, 1971. – 181 с.
11. ***Barskii I.L., Gusman A.M., Povalikhin A.S.*** Development of a Method for Drilling of Straight Section of Various Type Wellbores. // Proceeding ETCE/OMAE 2000 Joint Conference. – New Orleans, Louisiana, USA, 2000.
12. ***Симонов В.В., Юнин Е.К.*** Влияние колебательных процессов на работу бурильного инструмента. – М.: Недра, 1977. – 217 с.
13. ***Gulyaev V.I., Borshch E.I.*** Free vibrations of drill strings in hyper deep vertical borewells. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2011. – Vol. 78, – p. 759–764,
14. ***Gulyaev V.I., Gaidachuk V.V., Glushakova O.V.*** Andronov-Hopf bifurcations in wave models of torsional vibrations of drill strings. // International Applied Mechanics. – 2011. – Vol. 46(11). – p. 1275-1283.
15. ***Борщ Е.И., Ващилина Е.В., Гуляев В.И.*** Спиральные бегущие волны в упругих стержнях // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2009. – № 2. – с. 143-149.

16. ***Nandakumar K., Wiercigroch M.*** Stability analysis of a state dependent delayed, coupled two DOF model of drill-string vibration. // Journal of Sound and Vibration. – 2013. – Vol. 332. – p. 2575–2592.
17. ***Hakimi H., Moradi S.*** Drillstring vibration analysis using differential quadrature method. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2010. – Vol. 70. – p. 235–242.
18. ***Khulief Y.A., Al-Sulaiman F.A., Bashmal S.*** Vibration Analysis of drillstrings with self-excited stick-slip oscillations. // Journal of Sound and Vibration. –2007. – Vol. 299. – p. 540-558.
19. ***Ali Asghar Jafari, Reza Kazemi, Mohammad Faraji Mahyari*** The Effects of Drilling Mud and Weight Bit on Stability and Vibration of a Drill String. // Journal of Vibration and Acoustics. – 2012. – Vol. 134.
20. ***Tucker R.W., Wang C.*** An integrated model for drill-string dynamics // Journal of Sound and Vibration. – 1999. – Vol. 224, Issue 1. – p. 123-165.
21. ***Li Z., Li J.*** Fundamental equations for dynamic analysis of rod and pipe string in oil-gas wells and application in static buckling analysis // Journal of Canadian Petroleum Technology. – 2002. – Vol. 41, Issue 5. – p. 44-53.
22. ***Филиппов А.П.*** Колебания деформируемых систем. – Изд. 2-е, переработанное. – М.: Машиностроение, 1970. - 736 с.
23. ***Новожилов В.В.*** Основы нелинейной теории упругости. - М.- Л.: ОГИЗ, 1948. – 211 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (ПСВ)

Носков М.Д., Истомин А.Д., Кеслер А.Г.,
Чеглоков А.А., Гуцул М.В., Сакирко Е.Г.
СТИ НИЯУ МИФИ, Северск, Россия

В последние десятилетия произошло интенсивное расширение области применения информационных (компьютерных) технологий в горном деле. Из инструмента геометрического моделирования месторождений и подсчета запасов они превратились в инструмент оптимизации добычи и управления горнодобывающим предприятием. Это связано с многомерностью и многовариантностью задач горного производства, необходимостью принятия правильных инвестиционных, проектных и управленческих решений в условиях многочисленных ограничений, рисков и неопределенностей.

В настоящее время с применением компьютерных технологий решаются проблемы геологического и гидрогеологического моделирования, технико-экономического обоснования и проектирования горнодобывающих предприятий, календарного планирования, оценки геоэкологических последствий, транспортировки и т.д. Горными компаниями создаются и внедряются комплексные информационные системы, которые постоянно применяются инженерно-техническими службами для контроля и мониторинга горных работ, подготовки отчетной документации, анализа и оптимизации, оперативного и стратегического управления деятельностью горной компании.

Однако, применение информационных систем, созданных для предприятий ведущих добычу полезных ископаемых традиционными способами, затруднительно при разработке инфильтрационных месторождений урана способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ). Поскольку, данный метод не предполагает выемку руды, а основан на переводе полезного компонента в раствор и извлечении его из недр с помощью системы технологических скважин. В связи с этим АО «Далур» и АО «Хиагда» совместно Северским технологическим институтом НИЯУ «МИФИ» разработан и внедрен специализированный программный комплекс для информационного обеспечения управления добычей урана способом СПВ [1-6]. Согласованная работа информационных систем комплекса позволяет реализовать интеллектуальную технологию управления разработкой месторождения урана методом СПВ, основанную на комплексном анализе геологических и геотехнологических данных на всех стадиях жизненного цикла предприятия, многовариантном геологическом, геотехнологическом, технико-экономическом моделировании работы предприятия, применении интеллектуальных систем для поддержки принятия решений. Системам программного комплекса и его применению для повышения эффективности добычи урана способом СПВ посвящена настоящая статья.

Комплекс состоит из семи взаимосвязанных систем: горно-геологической информационной, технологической информационной, геотехнологической моделирующей, геоинформационной экспертно-аналитической, технико-экономической, автоматизированного проектирования, планирования горных работ. Кроме того, в состав комплекса входит хранилище данных, обеспечивающее согласованное хранение и представление всего объема информации в любой системе комплекса.

Комплекс разработан в среде программирования Embarcadero RAD Studio XE3, программный код написан на языке программирования C++ с использованием объектно-ориентированного подхода и предназначен для применения на персональных компьютерах, работающих под управлением операционных систем Microsoft Windows. Работа комплекса основана на клиент-серверной технологии. Взаимодействие клиентских программ с хранилищем данных и осуществляется посредством SQL запросов. Функционал комплекса системы настроен на выполнение работниками предприятия ежедневных служебных обязанностей и решение производственных задач.

Горно-геологическая информационная система (ГГИС) позволяет собирать, обрабатывать первичные геологические данные, строить двух и трехмерные геолого-математические модели продуктивного горизонта, различными способами рассчитывать запасы урана и другие геотехнологические показатели геологических и эксплуатационных блоков, а также визуализировать информацию о состоянии геологической среды с помощью геологических колонок, разрезов, карт и т.д. [2]. Весь объем информации полученной в ходе функционирования ГГИС хранится в базе геологических данных, входящей в состав хранилища данных комплекса. Кроме хранения, база геологических данных обеспечивает целостность, согласованность и непротиворечивость информации различного типа.

Технологическая информационная система (ТИС) предназначена для формирования модели структуры добычного комплекса (ДК) геотехнологического предприятия, сбора и обработки данных о работе технологических объектов, согласования данных и подготовки отчетов о работе ДК [3,4]. Модель структуры ДК включает в себя совокупность моделей технологических объектов (скважины, трубопроводы, блоки, ячейки и т.д.) и отношений между ними (блок – скважина, трубопровод – скважина и др.). ТИС позволяет импортировать данные по скважинам и эксплуатационным блокам из базы геологических данных и базы проектов, создавать и редактировать модели технологических объектов, задавать их связи, проводить экспертную оценку данных для выявления противоречий и логических ошибок, а также визуализировать построенную модель в виде планов, структурированных списков и таблиц. Сбор первичных фактических данных о параметрах технологического процесса и состоянии объектов ДК выполняется из различных источников с помощью клиентских программ. Ввод данных возможен в ручном или автоматическом режимах. На основе специально разработанных алгоритмов происходит расчёт величин, которые по тем или иным причинам не были или не могут быть измерены, а также согласование всех данных о работе ДК, полученных из различных источников. Исходными данными для расчетов являются модель структуры ДК и первичная информация, полученная в процессе сбора данных. На основе модели структуры ДК и согласованных данных определяются значения геотехнологических показателей отработки эксплуатационных блоков, формируются сменные, суточные и месячные технические отчеты о работе геотехнологического предприятия. Исходные данные, параметры алгоритмов и модель ДК структуры хранятся в базе технологических данных, с учетом всех взаимосвязей, что обеспечивает их целостность и непротиворечивость.

Геотехнологическая моделирующая система (ГМС) дает возможность проводить имитационные расчеты процесса подземного выщелачивания урана и распространения загрязняющих веществ в подземных водах [5]. Расчеты выполняются на основе геолого-математической модели продуктивного горизонта и цифровой модели добычного комплекса, импортируемых из баз геологических и технологических данных, соответ-

ственно. Геотехнологические расчеты основываются на математической модели многокомпонентной неравновесной фильтрации реагирующих растворов. Гидродинамическая часть модели включает в себя расчет распределения напоров, скорости фильтрации, конвективного массопереноса и гидродинамической дисперсии. В физико-химической части рассматриваются гомогенные и гетерогенные процессы, происходящие при СПВ в системе рабочий раствор – подземные воды – вмещающая порода (кислотно-основные и окислительно-восстановительные процессы, комплексообразование и др.).

Геоинформационная экспертно-аналитическая система (ГЭАС) применяется для оптимизации режимов работы технологических объектов, оценки и анализа эффективности геотехнологического процесса. ГЭАС позволяет визуализировать весь объем информации о работе ДК, имеющийся в хранилище данных комплекса. На интерактивном плане отображаются все объекты добычного комплекса участка (скважины, блоки, трубопроводы и т.д.) по состоянию на указанную пользователем дату. По любому геотехнологическому объекту и логически связанным с ним объектам можно получить всю имеющуюся в хранилище данных информацию в виде графиков, таблиц, карт геологических колонок, разрезов и т.д. Кроме того, на плане могут быть показаны результаты расчетов состояния продуктивного горизонта, выполненные ГМС. В систему встроены инструменты для исследования корреляций между геологическими, геотехнологическими параметрами и показателями по произвольным выборкам объектов. С помощью ГЭАС можно проводить анализ гидродинамических потоков в продуктивном горизонте и их оптимизацию, с целью повышения качества продуктивных растворов и снижения затрат реагентов при отработке эксплуатационных блоков.

Технико-экономическая система (ТЭС) включает в себя экономико-математическую модуль расчёта экономических показателей работы эксплуатационных блоков. Модель описывает капитальные затраты и эксплуатационные расходы на сооружение и отработку блоков. На основе экономико-математической модели может быть рассчитана себестоимость добычи урана и другие экономические показатели отработки блоков.

Система автоматизированного проектирования (САП) применяется для построения и оптимизации схем вскрытия залежей урана. Исходными данными для проектирования являются: геолого-математическая модель залежи, включающая распределения эффективной мощности и метропроцента; тип и параметры технологических ячеек. Построение схем вскрытия может осуществляться в автоматическом или ручном режиме. В автоматическом режиме построение осуществляется с помощью разработанных алгоритмов автоматического построения. Алгоритмы позволяют создавать рядные и ячеистые схемы вскрытия, адаптированные под контур планируемой к отработке области вскрытия. Оптимизация схем вскрытия осуществляется путём поиска экстремума целевых функций методом градиентного спуска. Целевыми функциями являются: время, отношение Ж/Т (отношение объёма рабочих раствором к горнорудной массе блока) для заданной степени отработки блока, степень вскрытия запасов, себестоимость добычи урана, а также их комбинация.

Система планирования горных работ (СПГР) применяется для прогнозирования показателей отработки действующих и планируемых к вводу эксплуатационных блоков и формированию на основе данных прогнозов, планов горных работ предприятия, обеспечивающих запланированные уровни добычи урана. Работа системы планирования основана на многофакторной статистической модели, построенной по результатам анализа

фактической отработки эксплуатационных блоков предприятий, ведущих добычу урана методом СПВ. Исходными данными для планирования горных работ являются геологические и технологические параметры действующих и проектных эксплуатационных блоков, ретроспективные данные отработки действующих эксплуатационных блоков.

Программный комплекс непрерывно функционирует на всех этапах жизненного цикла геотехнологического предприятия. На стадии геологоразведочных работ с помощью ГГИС осуществляется сбор данных, полученных в ходе изучения керна и геофизических исследований скважин. На основе полученной информации строится цифровая модель продуктивного горизонта, и рассчитываются геотехнологические параметры геологических подсчетных блоков.

Оценка месторождения и подготовки технико-экономического обоснования выполняется на основе, созданной на предыдущем этапе работ геолого-математической модели месторождения. Оптимальные параметры схем вскрытия (расстояния между технологическими скважинами, рядами закачных и откачных скважин, и др.) определяются путем проведения серий геотехнологических расчетов для модельных блоков с использованием ГМС. Параметры моделирования определяются по результатам лабораторных исследований, геотехнологических опробований и опытно-промышленных геотехнологических испытаний, проведенных на месторождении. С помощью СПГР выполняется прогнозирование геотехнологических показателей разработки месторождения (степень извлечения, темпы добычи, содержание урана в продуктивных растворах, удельный расход кислоты и др.) исходя из определенного набора геологических и геотехнологических параметров (горно-рудная масса, содержание металла в породе, дебит скважин, концентрация кислоты в рабочих растворах и др.). На основе средне и долгосрочного прогнозирования выполняется планирование горных работ предприятия, обеспечивающих необходимую добычу урана. На основе полученных результатов, используя ГЭАС, проводятся анализ и оценка технико-экономических показателей работы предприятия, которые используются при подготовке технико-экономического обоснования строительства предприятия, разрабатываются модели полного жизненного цикла геотехнологического предприятия, с учетом базовых бизнес процессов и точек принятия решений.

Проектирование эксплуатационных блоков проводится с применением САП, ГМС и ГЭАС. На основе геолого-математической модели продуктивного горизонта создаётся адаптированная схема вскрытия и формируется проект блока. Для построенных цифровых моделей эксплуатационных блоков проводятся многовариантное геотехнологическое моделирование, рассчитывается себестоимость добычи урана и другие экономические показатели для различных вариантов отработки блоков. На основе полученных результатов выбирается проект в наибольшей степени соответствующий задачам, стоящим перед предприятием.

На стадии разработки месторождения с помощью ТИС создается и поддерживается в актуальном состоянии цифровая модель добычного комплекса, рассчитываются согласованные значения геотехнологических показателей, готовятся сменные, суточные и месячные отчеты о работе предприятия. ГМС используется для проведения эпигнозных и прогнозных геотехнологических расчетов с целью определения текущего состояния продуктивного горизонта, оптимизации отработки технологических блоков, краткосрочного планирования разработки месторождения, прогнозирования распространения технологических растворов. Параметры моделирования постоянно уточняются путем

сравнения данных контроля добычного комплекса и мониторинга состояния продуктивного горизонта с результатами эпигнозных геотехнологических расчетов. По результатам эпигнозных расчетов выявляются участки блоков, где процесс СПВ происходит недостаточно эффективно, и готовятся предложения по изменению режимов работы технологических скважин. Проверка эффективности сделанных предложений выполняется с помощью многовариантного моделирования. С помощью ГЭАС выполняется анализ и оценка эффективности работы отдельных технологических объектов и всего предприятия в целом, подготовка предложений по интенсификации извлечения урана и снижению расхода реагентов. Анализ геологических данных по скважинам и разрезам проводится с использованием ГГИС. СПГР применяется для многофакторного анализа и прогнозирования геотехнологических показателей отработки блоков, расчёта экономических показателей работы добычного комплекса (себестоимости добычи урана, капитальных и эксплуатационных затрат, динамики изменения себестоимости во времени и др.) и выбора наиболее эффективных режимов отработки эксплуатационных блоков.
На стадии завершения разработки месторождения программный комплекс используется для определения оптимального порядка вывода из эксплуатации технологических ячеек и блоков, подготовки мероприятий по доизвлечению урана из целиков, прогнозирования и оценки геоэкологических последствий работы предприятия, определения продолжительности и глубины автоочистки подземных вод, обоснования выбора методов и подготовки планов по рекультивации водоносных горизонтов.

Преимуществами разработанного программного комплекса являются: модульная архитектура, масштабируемость и возможность развития; оптимальная структура баз данных, обеспечивающая целостность и непротиворечивость информации; наличие механизмов интеграции с действующими на предприятии автоматизированными системами; включение новых современных средств поддержки принятия решений; соответствие требованиям по информационной безопасности.

Применение комплекса для управления разработкой месторождения позволяет создать единую информационно-производственную среду геотехнологического предприятия; обеспечивает консолидацию информации для целей оперативного управления, производственного учета, планирования и прогнозирования; увеличивает производительность труда инженерно-технических работников и административно-управленческого персонала (автоматизация обработки данных и подготовки отчетной документации, оперативность и простота доступа к любой информации на различных уровнях и др.); повышает качество управленческих решений (полнота, точность, достоверность данных и актуальность данных, автоматизированный анализ больших объемов данных, поддержка принятия решений и др.). Все это способствует повышению эффективности разработки месторождения и снижению себестоимости добычи урана, за счет выбора оптимальных схем вскрытия, контроля технологических режимов и оптимизации процесса выщелачивания.

Важным фактором эффективности применения комплекса является полнота линейки созданных программных продуктов, обеспечивающих решение стоящих перед предприятием задач на всем весь жизненном цикле месторождения, от геологоразведочных работ первых стадий до завершения. Совместное применение различных систем комплекса дает синергетический эффект и позволяет говорить о создании интеллектуальной технологии управления геотехнологическим предприятием, основанной на комплексном анализе геологических и геотехнологических данных, многовариантном мо-

делировании геотехнологического процесса, применении интеллектуальных систем для поддержки принятия решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Носков М.Д., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н., Чеглоков А.А.*** Программные средства управления добычей урана методом скважинного подземного выщелачивания // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2013. – Т.2. – № 1. – с. 95-100.
2. ***Истомин А.Д., Ладейщиков А.В., Носков М.Д., Чеглоков А.А.*** Применение геологической геоинформационной системы при проведении ГРР на инфильтрационном месторождении урана // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 8 . – с. 6-11.
3. ***Истомин А.Д., Бабкин А.С., Носков М.Д., Чеглоков А.А.*** Система информационной поддержки управления добычей урана методом скважинного подземного выщелачивания // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 1.– с. 5-9.
4. ***Истомин А.Д., Бабкин А.С., Носков М.Д., Чеглоков А.А., Попонин Н.А.*** Технологическая информационная система для контроля и управления добычным комплексом предприятия по извлечению урана методом подземного выщелачивания // Цветные металлы. – 2012. – №1/3. – с. 16-22.
5. ***Носков М.Д., Гуцул М.В., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н.*** Применение математического моделирования для решения геотехнологических и экологических задач при добыче урана способом подземного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. - № 7. – с. 361-366.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Носков М.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н., Теровская Т.С.
СТИ НИЯУ МИФИ, Северск, Россия

Отличительной особенностью метода скважинного подземного выщелачивания (СПВ) является сложность управления разработкой месторождений. Это обусловлено недостаточностью данных о продуктивном горизонте (ПГ), невозможностью непосредственного наблюдения за технологическим процессом в недрах, значительной инерционностью геотехнологической системы, сложностью происходящих в недрах физико-химических процессов, ограниченными возможностями воздействия на движение растворов. Одним из путей повышения оперативности и качества решений по управлению добычей является применение математического моделирования геотехнологического процесса. В настоящее время моделирование широко применяется при разработке месторождений различных полезных ископаемых. На основе результатов расчетов выбирают оптимальные системы разработки месторождения, прогнозируют темпы добычи, готовят мероприятия по повышению эффективности работы предприятия. Однако математические модели и программные комплексы, используемые при разработке месторождений традиционными способами, не могут быть использованы при добыче урана методом СПВ в силу особенностей данного метода.

Для решения геотехнологических и экологических задач, возникающих при проектировании и разработке месторождений методом СПВ, в Северском технологическом институте НИЯУ «МИФИ» были созданы специализированные математические модели и программные комплексы [1,2]. В настоящее время разработанные программные средства используются для повышения эффективности разработки месторождений урана методом СПВ российскими предприятиями АО «Далур» и АО «Хиагда». Применение постоянно-действующих моделей геотехнологического поля позволяет иметь актуальную информацию о состоянии ПГ, осуществлять постоянный контроль за добычей, быстро обрабатывать большие объемы данных о технологическом процессе, использовать самую свежую информацию для оптимизации процесса СПВ (рисунок 1).

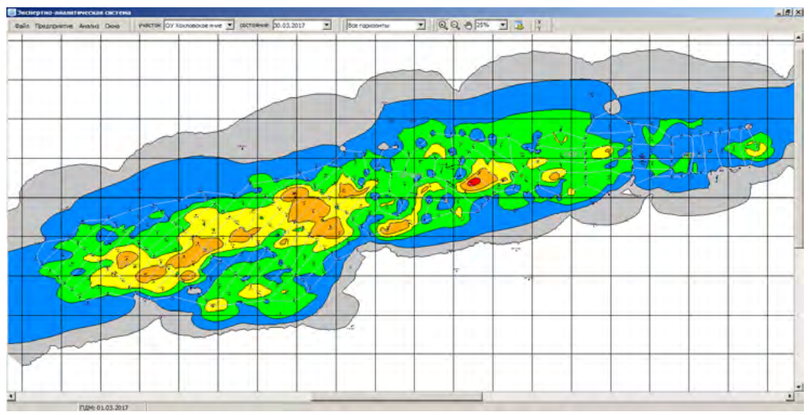


Рисунок 1. Карта распределения продуктивности на окончание эпигнозного расчета в рабочем окне постоянно-действующей модели геотехнологического поля

Постоянно действующая модель геотехнологического поля объединяет в себя как технологическую информацию, получаемую в реальном времени, так и данные по истории разработки месторождения. Геотехнологические расчеты автоматически выполняются постоянно-действующей моделью на основе регулярно поступающих технологических данных информационной системы добычного комплекса. Постоянно-действующая модель геотехнологического поля даёт ответ на вопрос, что же происходит в ПГ в данный момент.

Для оптимизации работы эксплуатационных блоков применяются геотехнологические информационно-моделирующие системы [2]. Они позволяют выполнять эпигнозные и прогнозные геотехнологические 2D (рисунок 2) и 3D (рисунок 3) расчеты отработки групп эксплуатационных блоков. Выполнение геотехнологических расчетов для различных возможных сценариев дальнейшей отработки блоков позволяет ответить на вопрос типа «что будет, если...» и принимать наиболее оптимальные решения о дальнейшей стратегии отработки эксплуатационных блоков.

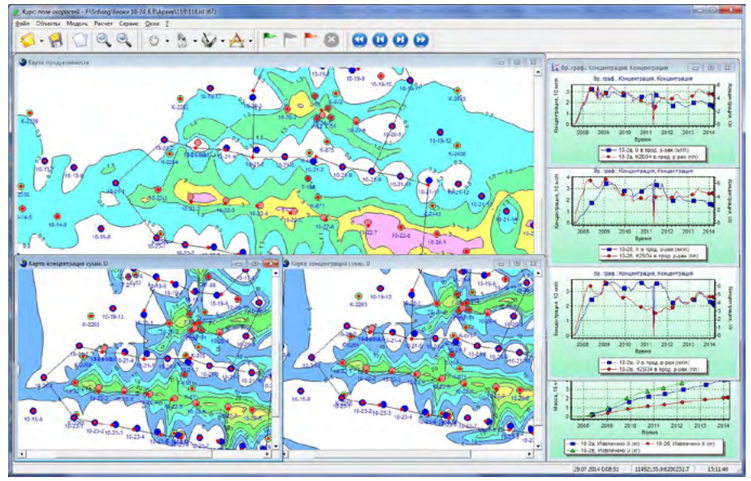


Рисунок 2. Пример рабочего окна геотехнологического информационно-моделирующего комплекса

Геотехнологическое моделирование основано на мат.модели, описывающей основные гидродинамические и физико-химические процессы, происходящие в ПГ при сернокислотном выщелачивании урана [3]. Гидродинамический блок модели включает в себя расчет распределения напоров, скорости фильтрации р-ров, конвективного массопереноса и гидродинамической дисперсии. Гидродинамические расчеты проводятся с учетом гидродинамических условий и фильтрационных свойств ПГ, а также дебитов технологических скважин. В физико-химическом блоке рассматриваются гомофазные и гетерофазные процессы, происходящие при СПВ в системе рабочий раствор (РР) – подземные воды – вмещающая порода. В модели принимается, что процессы в р-ре происходят мгновенно (в каждой точке пласта коллектора раствор находится в состоянии термодинамического равновесия). Взаимодействие РР с урансодержащими и породообразующими минералами считается неравновесным и описывается с помощью соответствующих кинетических уравнений. Основными физико-химическим процессами, являются взаимодействие кислоты и окислителя с минералами, содержащими уран с различной степенью окисления, а также с различными породообразующими минералами. Параметры моделирования, определяющие интенсивность взаимодействия выщелачивающих растворов с породой, определяются по результатам лабораторных исследований, натурных испытаний и опытно-промышленных работ.

Результаты моделирования представляются в виде карт распределений продуктивности, содержания урана в растворе и породе, содержания кислоты, сульфат ионов и других компонентов в растворе, показателя кислотности и окислительно-восстановительного потенциала в пределах ПГ. На основе результатов моделирования рассчитываются геотехнологические показатели отработки блоков, а также строятся зависимости показателей работы эксплуатационных ячеек и блоков от времени или отношения Ж/Т (масса извлеченного урана, оставшиеся запасы урана в ПГ, степень извлечения, расход реагентов, содержания урана и кислоты в продуктивных растворах (ПР) и др.).

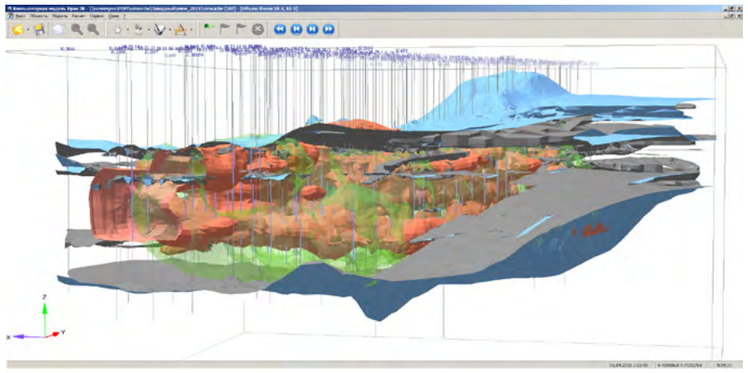


Рисунок 3. Геотехнологическое 3D моделирование СПВ урана

Геотехнологическое моделирование применяется на различных этапах разработки месторождения [4]. На стадии подготовки технико-экономического обоснования разработки месторождения с помощью моделирования определяются оптимальные параметры технологических схем и прогнозные геотехнологических показатели отработки эксплуатационных блоков. Например, важным параметром рядной технологической схемы, определяющим эффективность извлечения урана из недр, является расстояние между рядами откачных и закачных скважин. Данный параметр зависит от геотехнологических особенностей залежи или месторождения. С помощью многовариантных вычислительных экспериментов, проведенных с модельными блоками, можно определить оптимальное значение расстояния между рядами.

На стадии проектирования эксплуатационных блоков проводятся многовариантные прогнозные геотехнологические расчеты с целью оценки эффективности различных схем вскрытия ПГ технологическими скважинами. Для каждого предложенного варианта вскрытия строится геотехнологическая цифровая модель и выполняется моделирование процесса отработки блока. При подготовке проектов могут варьироваться тип технологической схемы (гексагональная, рядная и др.), характеристики технологической схемы (расстояние между рядами, расстояние между скважинами в ряду и др.), дебиты технологических скважин, концентрация кислоты в выщелачивающих растворах. Цифровые модели проектируемых блоков создаются на основе геолого-математических моделей соответствующих участков залежей, которые импортируются из базы геологических данных. Геотехнологическое моделирование отработки блоков проводится на период времени от начала отработки до момента достижения требуемой степени извлечения или падения концентрации урана в ПР ниже минимально допустимого (с точки зрения технологии или экономики) значения. По результатам геотехнологических расчетов определяются оптимальные схемы вскрытия планируемых к отработке блоков и режимы их эксплуатации.

В качестве критериев оптимальности выступают: снижение себестоимости добычи, сокращение времени отработки, повышение качества ПР, снижение расхода реагентов и т.д.

На стадии отработки эксплуатационных блоков геотехнологическое моделирование применяется для определения текущего состояния ПГ, краткосрочного и среднесрочного прогнозирования геотехнологических показателей отработки, а также для выработки предложений по повышению эффективности работы блоков. Для этого создаются геотехнологические модели работающих блоков. Геотехнологическая модель блока включает в себя цифровые модели геологической среды и технологических объектов. Модель геологической среды импортируются из базы геологических данных. Модели технологических объектов импортируются из базы технологических данных. Режимы работы блоков включают в себя дебиты технологических скважин и составы выщелачивающих растворов. На основе созданных геотехнологических моделей проводятся эпигнозные расчеты отработки блоков с момента ввода в эксплуатацию по настоящее время. По результатам эпигнозных расчетов строятся карты распределений концентрации урана, кислоты, сульфат иона в технологических растворах ПГ, продуктивности, содержания урана в породе и др., а также зависимости временные концентрации урана и кислоты в ПР, степени извлечения, удельного расхода кислоты и других геотехнологических показателей отработки эксплуатационных ячеек и блоков от времени и отношения Ж/Т.

На основе результатов эпигнозных расчетов проводятся краткосрочные и среднесрочные прогнозные расчеты эксплуатации работающих блоков, определяются геотехнологические показатели и строятся графики производства продукции. Результаты эпигнозных расчетов используются для выявления участков эксплуатационных блоков, где процесс СПВ происходит недостаточно эффективно. Причинами этого может быть образование застойных гидродинамических зон, разбавление ПР пластовыми водами, растекание технологических растворов за пределы контура блока и др. На основе анализа результатов моделирования вырабатываются предложения по изменению гидродинамических потоков с целью повышения эффективности СПВ урана, после чего выполняются прогнозные геотехнологические расчеты с целью проверки правильности сделанных предложений. Затем проводится сравнительный анализ результатов многовариантных расчетов и выбирается наилучший, с учетом технических возможностей, вариант работы блоков, который рекомендуется для реализации. Методами управления гидродинамическими потоками являются: изменение дебитов откачных и нагнетательных скважин, переключения скважин из режима нагнетания в режим откачки и наоборот (реверс), отключение скважин. Критериями выбора наилучших альтернатив являются повышение содержания урана в ПР, увеличение темпов добычи урана, уменьшение расхода реагентов.

На завершающей стадии эксплуатации блоков геотехнологическое моделирование применяется для интенсификации извлечения урана из целиков (частей залежи, уран их которых не извлечён в процессе разработки месторождения) и повышения содержания урана в ПР. В процессе работы эксплуатационных блоков образуются целики, для отработки которых необходимо изменение гидродинамических потоков. На других участках блоков выщелачивание происходило более интенсивно и урана в породе практически не осталось, в результате этого происходит снижение содержания урана в ПР некоторых откачных скважин ниже приемлемого уровня, и встаёт вопрос о выводе их из эксплуатации. Нахождение оставшихся целиков и определение проработанных областей блоков осуществляется на основе результатов эпигнозных расчетов. По результатам анализа распределений продуктивности, концентрации кислоты и урана, а также режимов работы технологических скважин, готовятся пред-

ложения по изменению гидродинамических потоков с целью интенсификации извлечения урана из целиков, а также отключению технологических скважин в проработанных областях. Изменение гидродинамических потоков может достигаться за счет изменения дебитов технологических скважин, реверса работы скважин, а также бурения дополнительных скважин. Эффективность подготовленных предложений оценивается с помощью прогнозных геотехнологических расчетов.

На всех этапах разработки месторождения геотехнологическое моделирование применяется для решения геэкологических задач [5]. Геотехнологическое моделирование позволяет иметь картину распространения загрязняющих веществ в подземных водах, как процессе разработки месторождения, так и после его завершения. На этапе проектирования прогнозные геотехнологические расчеты необходимы для экологической оценки влияния добычи урана на состояние окружающей среды. На стадии разработки месторождения, на основе моделирования определяется область распространения технологических растворов, готовятся предложения по изменению режимов работы технологических скважин с целью минимизации геоэкологических последствий. На стадии вывода из эксплуатации моделирование применяется для прогнозирования движения остаточных технологических растворов в водоносном горизонте, оценки времени самоочищения ПГ и подготовки планов природоохранных мероприятий.

Таким образом, применение геотехнологического моделирования является эффективным инструментом для решения широкого спектра геотехнологических и геоэкологических задач, возникающих на различных стадиях разработки месторождения урана методом СПВ. Повышения оперативности и качества управленческих решений на основе актуальной информации о состоянии пласта коллектора позволит повысить экономическую эффективность и экологическую безопасность разработки месторождения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Носков М.Д., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н.*** Геотехнологический информационно-моделирующий комплекс для оценки экологических последствий разработки месторождения урана методом скважинного подземного выщелачивания Экологические системы и приборы. – 2008. – № 10 – с. 33-37.
2. ***Носков М.Д., Жиганов А.А., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Чеглоков А.С.*** Геотехнологический информационно-моделирующий комплекс для повышения эффективности разработки месторождений урана методом подземного выщелачивания // Маркшейдерия и Недропользование, 2009. – № 2. – с. 58-61.
3. ***Кеслер А.Г., Носков М.Д., Истомин А.Д., Носкова С.Н.*** Комплексная физико-химическая модель сернокислотного выщелачивания урана из песчано-глинистых пород инфильтрационных месторождений // Вестник Российской академии естественных наук. – 2013. – №7. – с. 41-47.
4. ***Гуцул М.В., Кеслер А.Г., Носкова С.Н., Носков М.Д.*** Применение геотехнологического моделирования для повышения эффективности разработки месторождения урана методом подземного выщелачивания // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – т. 56. – №4/2. – с. 109-113.
5. ***Бабкин А.С., Посохова Е.М., Теровская Т.С., Кеслер А.Г., Носков М.Д.*** Прогнозирование геоэкологического состояния недр при добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания // Вестник Российской академии естественных наук. – 2013. – №7. – с. 35-41.

НАЗЕМНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ УСТАНОВКА ПРОМЫВКИ И ОСВОЕНИЯ МАЛОДЕБИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН И ПРОВЕДЕНИЯ РВР «УПОС А1»

Өмірғали А.Қ.
АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

В настоящее время при проведении освоения технологических скважин, предназначенных для подземного выщелачивания урана, в АО «Волковгеология» применяется «Установка освоения скважин УОС-700М» (в дальнейшем УОС) для промывки скважины сборки УПТОК АО «Волковгеология» и компрессора для эрлифтной откачки. Промывка осуществляется с целью очистки забоя и фильтров скважины от шлама, песка и других механических взвесей.

Предлагаемая «Наземная комплексная установка промывки и освоения малодебитных технологических скважин и проведения РВР скважин «УПОС А1» направлена на повышение производительности при проведении работ по промывке и освоению малодебитных скважин и ремонтно-восстановительных работ (РВР), а также на модернизацию существующих применяемых технических средств, а именно модернизацию УОС.

«Наземная комплексная установка промывки и освоения малодебитных технологических скважин и проведения РВР скважин «УПОС А1» разработана в «Партии новых технологии бурения и поиска» филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ, и изготовлена в филиале АО «Волковгеология» УПТОК. Основным заказчиком является филиал АО «Волковгеология» ГРЭ №7.

ЦЕЛЕВОЕ НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТ

Эффективность эксплуатации месторождений урана, отрабатываемых методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), существенно зависит от состояния геотехнологических скважин. В процессе эксплуатации этих скважин в большинстве наблюдается снижение дебита (а также приемистости и пористости продуктивного пласта), обусловленное отложением на теле фильтров и в прифильтровой зоне кольматирующих образований химического происхождения, твердых частиц (алевролиты, алевриты, пески).

- оставшихся в результате промывки фильтровой зоны при освоении скважины, и образованием песчаной пробки в фильтре вследствие суффозии;
- суффозия – вынос подземными водами из горной породы мельчайших частиц следующих типов:
  - вымывание растворимых солей (химическая суффозия);
  - вымывание частиц грунта с разрушением микроагрегатов коагулированных глинистых частиц (коллоидная суффозия).

Для решения данных проблем при ПСВ возникает необходимость в проведении целенаправленных мероприятий по восстановлению дебита геотехнологических скважин и повышению межремонтного цикла (МРЦ). Основная задача при восстановлении дебита – удаление песчаной пробки из тела фильтра, а также кольматирующих химических образований с поверхности фильтра и прифильтровой зоны.

Целевым назначением работы является совершенствование методики и технологии промывки и освоения технологических скважин и РВР, в основном малодебитных скважин, а также сокращение различных непроизводительных затрат, путем применения «Наземная комплексная установка промывки и освоения малодебитных технологических скважин и проведения РВР скважин «УПОС А1», которая включает различные новые технологии, методики и технические средства разработанные сотрудниками партии новых технологии филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ и имеющие актуальность и высокую эффективность.

СУЩЕСТВУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫВКИ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

Для промывки скважины используется «Установка освоения скважины УОС-700М» (УОС) которая состоит из: насоса НБ-32, насадок (с прямым отверстием для промывки отстойника и боковыми отверстиями для промывки фильтров и ствола скважины) устанавливаемых на гибкую трубу из ПНД ø40 мм, намотанную на барабан с вращателем.

Промывка осуществляется путем поэтапного спуска прямых и боковых насадок в скважину и подачи промывочной жидкости с производительностью насоса 150-180 л/мин и давлением, не превышающим 25-30 атм. Промывка и освоение малодебитных скважин достигает до 120 часов.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫВКИ

Для устранения вышеперечисленных недостатков и повышения производительности промывки, вновь сооружаемых и РВР малодебитных технологических скважин, нами предложен новый способ и разработаны технические средства для промывки и освоения технологических скважин.

Новизна и производственная эффективность установки заключается в комплексном использовании всех разработок «Партии новых технологии бурения и поиска АО «Волковгеология» направленных на промывку и освоение малодебитных скважин и проведения РВР.

ОПИСАНИЕ И СХЕМА «УПОС А1»

Наземная комплексная установка промывки и освоения малодебитных технологических скважин и проведения РВР скважин «УПОС А1» является комплексным решением при проведении различных работ по промывке и освоению скважин и направлена на сокращение непроизводительных затрат за счет объединения различных технических средств в одну установку. Основным преимуществом «УПОС А1» является укомплектованность и готовность к применению ранее разработанных нами (сотрудниками ПНТБиП АО «Волковгеология») различных новых методик, технологий и технических средств в одной установке.

Комплектация установки промывки и освоения скважин «УПОС А1»:

1. Емкость – 8 м^3 (3-х секционная), с люками сверху, из нержавеющей стали, сверху трап с ограждением;
2. Барабан на 500-600 м шланга диаметром 50 мм, со сдвоенным вертлюг-сальником с одной стороны (двух канальный вертлюг-сальник позволяет параллельно пропуска два различных потока);

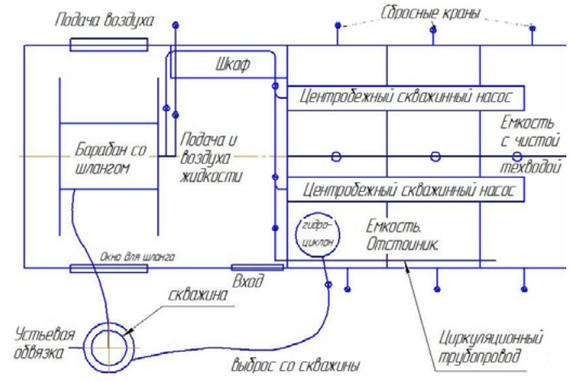


Рисунок 1. Принципиальная схема «УПОС А1» и расположения навесного оборудования

3. насос погружной скважинный типа ЭЦН (производства «Grundfos», Германия), производительностью 200-250 л/мин, и рабочим давлением 25 атм (насос монтирован внутри емкости) – 2 штуки;
4. насос блочный секционный (центробежный) – предназначен для заполнения и откачки емкостей тех. водой;
5. прицеп МАЗ-870100-301. Длина – 8 500 мм, ширина – 2 500 мм, высота – 1 320 мм, грузоподьемность – 18 т., общая длина с дышлами 10 600 мм, платформа без тента;
6. шланг ПНД - ø50 мм – 500 м;
7. шланг ПНД - ø16 мм – 300 м;
8. шланг РВД для утяжеления – ø42 – 100 м;
9. гидроимпульсатор ГВЛ-4 – 1 штук из нержавеющей стали;
10. гидроимпульсатор НТУ2М – 1 штук из нержавеющей стали;
11. струйный аппарат ГАЛ6М (с удлинителем длинной 50 мм) – 1 штука из нержавеющей стали;
12. гидроциклон – 1 штука из нержавеющей стали;
13. здание – в здании барабан, шкаф управления, шкаф для инструментов;
14. аэратор раствора – пневмо-струйный аппарат;
15. комбинированная насадка на пневмошланг;
16. устьевая обвязка;
17. гидродолотный ЁРШ (забойный двигатель).

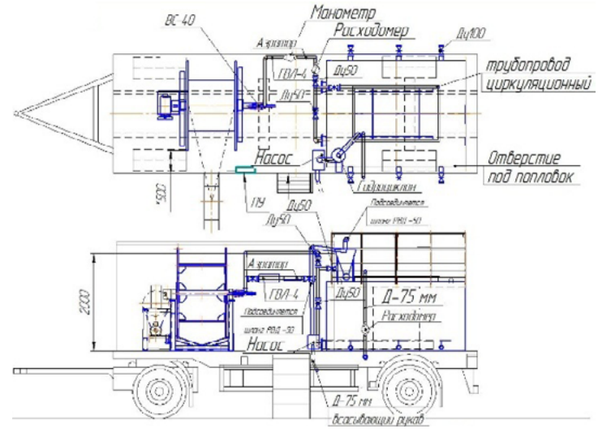


Рисунок 2. Компоновка «Установки промывки и освоения скважины «УПОС А1»

ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДИКИ РАБОТ, ПРОВОДИМЫХ С ПОМОЩЬЮ «УПОС А1»

Основной перечень методов проведения промывки и освоения технологических скважин с помощью «УПОС А1»:

1. промывка фильтров скважины технологической водой с давлением от 25 до 50 атм. при необходимости, за счет применения одновременно двух центробежных насосов рабочим давлением жидкости в 25 атм. по каждой;
2. очистка фильтров с помощью обратного эрлифта;
3. очистка отстойника с помощью обратного эрлифта (не требует проведения повторного переосвоения);
4. химическая обработка;
5. гидроимпульсная промывка с помощью «Гидроимульсаторов ГВЛ4» и «Струйного аппарата ГАЛ6М»;
6. аэрированная промывка с помощью аэратора растовора (пнемоструйный аппарат);
7. проведение пневмо-гидроударов на пласт;
8. проведение эрлифтного освоения скважины без необходимости подъема шланга УПОС и спуска отдельного компрессорного шланга, после проведения других видов работ по повышению производительности скважин.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА «ГИДРОИМПУЛЬСАТОР ВЫНОСНОЙ ГВЛ-4» ПРИМЕНЯЕМОГО В «УПОС А1»

Устройство «Гидроимпульсатор ГВЛ-4» изготовлен производственными силами филиала АО «Волковгеология» УПТОК по чертежам разработанным Главным специалистом и инженером-конструктором Партии новых технологии бурения и поиска филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ. «Гидроимпульсатор ГВЛ-4» за счет создания высокочастотных гидроударов (гидроимпульсов) частотой около 1 500 ударов в минуту, позволяет получать максимальный эффект гидромониторного воздействия на кольматационные отложения в фильтрах скважины и на песчаные пробки в отстойнике скважины.

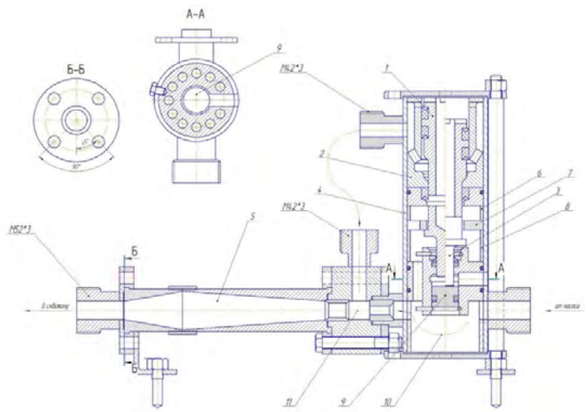


Рисунок 3. Схема «Гидроимпульсатора выносного ГВЛ-4»
1 – ударник, 2 – цилиндр, 3 – клапан, 4 – корпус, 5 – струйный аппарат, 6-8 – кольца, 7 – ограничитель хода клапана, 9 – гидротормоз, 10 – гидроударная зона, 11 – зона понижения давления (эжекция)

Устройство состоит из следующих основных узлов:

1. ударник и цилиндр ударника;
2. клапанный узел;
3. струйный аппарат гидроимпульсатора.

Принцип работы «Гидроимпульсатора ГВЛ-4» заключается в следующем: Поток жидкости от насоса подается к входному штуцеру гидроимпульсатора, часть жидкости проходит через гидроударную зону, напрямую в зону понижения давления, а другая часть за счет высокого давления и небольшого отверстия сопла в зону понижения давления следует к ударнику через клапанный узел, где за счет давления жидкости работают ударник и клапан переменно перекрывая поток жидкости, и создавая тем самым высокочастотные гидроудары (гидроимпульсы). Жидкость с гидроимпульсами через выходной штуцер цилиндра ударника также поступает в зону понижения давления, а затем весь поток проходит через струйный аппарат к выходному штуцеру гидроимпульсатора, а далее гидроимпульсный поток поступает в скважину.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА «СТРУЙНЫЙ АППАРАТ ГАЛ6М» ПРИМЕНЯЕМОГО В «УПОС А1»

Устройство «Струйный аппарат ГАЛ6М» изготовлен производственными силами филиала АО «Волковгеология» УПТОК по чертежам разработанным Главным специалистом и инженером-конструктором Партии новых технологии бурения и поиска филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ. При пропуске через «Струйный аппарат ГАЛ6М» максимально возможного количества жидкости через УПОС А1 происходит удвоение потока подаваемой жидкости, что позволяет увеличить эффект гидромониторного воздействия на кольматационные отложения в фильтрах скважины и на песчаные пробки в отстойнике скважины.

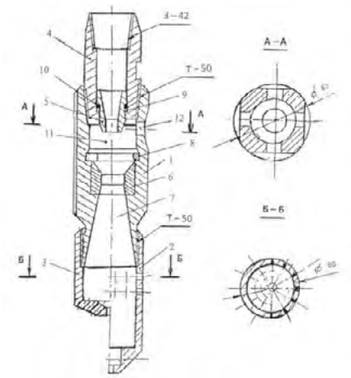


Рисунок 4. Схема струйного аппарата ГАЛ6М
1 – корпус, 2 – распылитель боковой, 3 – распылитель торцевой, 4 – переходник, 5 – сопло, 6 – втулка диффузора, 7 – диффузор, 8 – фиксатор, 9 – кольцо компенсационное, 10 – кольцо уплотнительное, 11 – смесительная камера, 12 – радиальные каналы эжектирования.

Принцип работы «Струйного аппарат ГАЛ6М» заключается в следующем: поток, подаваемый от насоса через шланг ПНД с предельно допустимым давлением, проходят через сопло 5, создает разрежение в смесительной камере, в которую засасывается (эжектируется) жидкость через радиальные каналы эжектирования 12, тем самым количество жидкости попадающей в диффузор увеличивается примерно в два раза, далее жидкость направляется в скважину через боковой и торцевые распылители 2 и 3. Струйный аппарат позволяет преобразовать увеличенное давление жидкости в увеличенный расход его.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА «АЭРАТОР РАСТВОРА (ПНЕВМО-СТРУЙНЫЙ АППАРАТ)» ПРИМЕНЯЕМОГО В «УПОС А1»

Устройство «Аэратор раствора (пневмо-струйный аппарат)» изготовлен производственными силами филиала АО «Волковгеология» УПТОК по чертежам разработанным Главным специалистом и инженером-конструктором Партии новых технологии бурения и

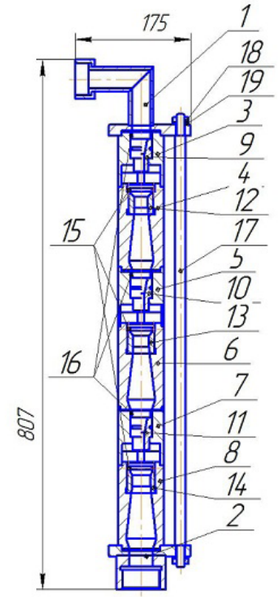


Рисунок 5. Схема «Аэратор раствора (пневмо-струйный аппарат)»
1 – фланец верхний, 2 – фланец нижний, 3 – ступень верхняя №1, 4 – ступень нижняя №1, 5 – ступень верхняя №2, 6 – ступень нижняя №2, 7 – ступень верхняя №3, 8 – ступень нижняя №3, 9 – сопло №1, 10 – сопло №2, 11 – сопло №3, 12 – сопло нижнее №1, 13 – сопло нижнее №2, 14 – сопло нижнее №3, 15 – фикастор, 16 – кольцо упорное, 17 – стойки, 18 – гайки, 19 – шайбы.

поиска филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ, и представляет из себя три струйных аппарата соединённых последовательно, имеющих три стадии эжектирования соответственно. При пропуске через «Аэратор раствора» максимально возможного количества жидкости с помощью насоса установленного в УПОС А1 происходит эжекция воздуха через каналы эжектирования, и происходит аэрирование подаваемой жидкости, то есть насыщение ее пузырьками воздуха. Промывка аэрированной жидкостью позволяет улучшить вынос различного рода механических примесей (буровой шлам, глина и различные колматанты) аэрированного гидромониторного воздействия на кольматационные отложения в фильтрах скважины и на песчаные пробки в отстойнике скважины, а также за счет облегчения удельного веса подаваемой жидкости воздухом.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА «КОМБИНИРОВАННАЯ НАСАДКА НА ПНЕВМО-ШЛАНГ «КНП» ПРИМЕНЯЕМОГО В «УПОС А1»

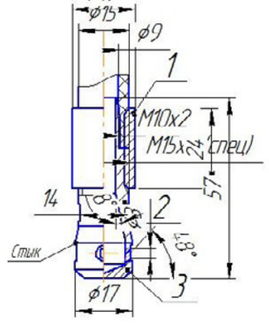


Рисунок 6. Схема «Комбинированная насадка на пневмо-шланг»

«Комбинированная насадка на пневмошланг «КНП» применяется при работе системы обратного эрлифта, и позволят повысить КПД обратного эрлифта на 15-20% за счет направления подаваемого в скважину потока сжатого воздуха вверх, в процессе.

Насадка изготовлена из нержавеющей стали и соединяется на пневмо-шланг ПНД диаметром 16 мм перед монтированием его в шланг ПНД диаметром 50 мм при первичной сборке и подготовке «УПОС А1» к эксплуатации.

ПНЕВМО-ГИДРОУДАР В ФИЛЬТРОВУЮ ЧАСТЬ СКВАЖИНЫ

Метод заключается в том, чтобы доставить сжатый воздух в прифильтровую зону скважины, тем самым создать пневмоудар превышающий пластовое давление, после чего создать гидроудар и получить депрессию в пласте, то есть разряжение пластового давления.

Метод производился поэтапно, следующим образом:

1. к нагнетательной системе «УПОС А1» подсоединяется воздухоподающий шланг компрессора;
2. нагнетательный шланг «УПОС А1» спускается в нижнюю часть фильтровой зоны скважины;

3. производится прокачка технической воды в скважину с помощью основного насоса, с целью образования столба жидкости в скважине;
4. подается сжатый воздух с давлением 15 атм. в нагнетательную систему «УПОС А1» в течение 3-5 минут;
5. после чего подача воздуха приостанавливается и возобновляется подача жидкости с помощью основного насоса УПОС, тем самым воздух продавливается в фильтровую часть скважины с помощью технической воды подаваемой основным насосом «УПОС А1»;
6. нагнетательный шланг «УПОС А1» поднимается на один 1 м;
7. операция с пункта 4 по пункт 5 повторяется 3 раза в каждом интервале, по всей длине фильтра.

Зачастую в процессе проведения работ наблюдается вынос крупных частиц прессованной глины размерами 4х5 мм толщиной 2 мм. При освоении скважины компрессором наблюдается обильный вынос песка в течении 15 минут. Глинистая корка образуется в кольцевом пространстве между дисками и каркасом фильтров, которая не вымывается традиционным методом и не дает добиться требуемого дебита. Также данным метод является наиболее эффективным при проведении РВР в скважинах наличием глинистой прослойки.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫВКИ

Эффективность методик, технологий и технических средств применяемых с помощью «УПОС А1» при проведении освоения малодебитных скважин и РВР подтверждается многочисленными отчетом, Актами испытаний и внедрения устройств на рудниках ТОО СП «Инкай», ТОО «Байкен-U», ТОО «РУ-6», ТОО «ТГХП» и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных экспериментальных и технологических работ по вышеуказанным методикам и техническим средствам, показали, что «Наземная комплексная установка промывки и освоения малодебитных технологических скважин и проведения РВР скважин «УПОС А1» является актуальной, так как позволяет в комплексе применять различные технологии и методики, при проведении работ по освоению малодебитных скважин и РВР, за счет чего разработка показала высокую эффективность.

На данный момент установка УПОС А1 внедрена в филиале АО «Волковгеология» ГРЭ №7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ВИДЕ РОЛЛ-ФРОНТОВ

Айжулов Д. Е., Калтаев А.
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Ролл-фронты формируются под воздействием химической реакцией, происходящей между обогащённой кислородом дождевой водой и восстановительной средой. Интерпретация скважинных данных производится либо вручную, либо путем применения геофизических методов. Основными методами являются оценочные и симуляционные методы геостатистики. Оценочные методы, такие как кригинг, ко-кригинг или метод обратных взвешенных расстояний, учитывают лишь расстояние и анизотропию местности как основной фактор влияющий на предугадывание характеристик неизведанной местности. Симуляционные методы учитывают общую статистику и лишь симулируют (придумывают) данные в неизвестных зонах. Несмотря на то, что эти методы являются единственным более или менее надежным инструментом интерполяции данных между скважинами, они никак не учитывают физические, геологические и химические аспекты формирования ролл-фронтов. Исследование этих аспекты может дать новый метод восстановления трехмерной картины месторождений ролл-фронтового типа.

Общая цель работы - исследовать гидродинамические, химические и геологические процессы, участвующие в формировании ролл-фронтов, а также разработка модели, позволяющей интерпретировать различную геолого-разведывательную информацию с ролл-фронтых месторождений. Урановые и другие месторождения ролл-фронтового типа формируются вследствие движение растворенных в воде минералов определенной концентрации. В первую очередь была построена модель движения концентрации.

Модель была отработана на разной геометрии пласта: сужение канала пласта, расширение канала пласта, сужение и следующее расширением канала пласта. Был рассмотрен реальный эксперимент, проведенный Евсеевой по формированию урановых месторождений пластово-инфильтрационного типа. На основе эксперимента была подобрана численная модель, с соответствующими скоростями химических реакций.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ПОИСКАХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

[1]Кашафутдинов И.В., [2]Петровский В.Б.
[1]Филиал АО «Волковгеология» ЦОМЭ, Алматы, Казахстан
[2]ТОО «КазЗарубежГеология», Алматы, Казахстан

Как показал многолетний опыт при поисках инфильтрационных урановых месторождений большинство применяемых площадных геофизических методов на закрытых территориях малоэффективны. Впервые специалистами ТОО «КазЗарубежГеология» и филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ были опробованы возможности решения поисковых задач на участке Тогускен на основе специализированной обработки и комплексной интерпретации геофизических материалов и данных дистанционного зондирования.

Предлагаемый подход заключается в выделении из наблюденных геофизических полей и данных дистанционного зондирования локальных аномалий, отображающих различные элементы разреза, установлении их природы на основе детального анализа всей имеющейся информации, включая данные бурения и каротажа, и последующей комплексной интерпретацией с прогнозными построениями.

В геологическом строении поискового участка Тогускен принимают участие литифицированный осадочный слой, образованный отложениями верхнего палеозоя, а также платформенный чехол и суборогенный предкомплекс, представленные слаболитифицированными отложениями мезозойско-кайнозойского возраста. В основу стратиграфического расчленения мезо-кайнозойского разреза положены принципы цикличности и ритмостратиграфии с использованием данных каротажей, палеонтологических и полинологических определений возраста.

Верхнемеловые отложения залегают на кровле палеозойского фундамента и сформированы в условиях озерно-аллювиальной и предгорно-аллювиальной равнины. На площади Тогускенского рудного поля выделяются предположительно отложения сеноманского яруса и три горизонта (снизу-вверх): мынкудукский (K_2t_1mk), инкудукский (K_2t_2-st in) и жалпакский (K_2km-m gp). Все горизонты залегают с размывом на нижележащих образованиях, общая мощность меловых осадков составляет 125-145 метров.

На территории поискового участка Тогускен все меловые горизонты подвержены пластовому окислению и безрудны.

Палеогеновый разрез на Тогускенском рудном поле начинается рудовмещающим уванасским горизонтом палеоценового возраста (P_1^2uv). Отложения уванасского продуктивного горизонта формировались в аллювиальных, отчасти подводно-дельтовых и озерных условиях, они характеризуются пестрым фациально-литологическим составом отложений и неоднородными первичными геохимическими типами пород.

Горизонт представлен тремя пачками.

Нижняя пачка сложена преимущественно мелкозернистыми и среднезернистыми поле-

вошпат-кварцевыми песками светло-серого или зеленовато-серого цветов. В основании разреза часто преобладают среднезернистые пески. В разрезе присутствуют глины серого, зеленого и красного цветов. В кровле верхней пачки отмечены прослои лигнитов. Мощность пачки 23-30 м.

Средняя пачка представлена преимущественно мелкозернистыми и тонкозернистыми песками полевошпат-кварцевого состава с прослоями и линзами среднезернистых песков. В разрезе также наблюдаются прослои и линзы глин серого и зеленовато-серого цвета, красноцветные глины практически отсутствуют. В нижней части пачки встречаются прослои и линзы лигнитов. Мощность пачки составляет 20-28 м.

Верхняя пачка представлена глинами, алевропелитами, аргиллитами пестрого, зеленоватого и серого цветов. Фациально глины сменяются тонко-мелкозернистыми дельтовыми песками серого цвета. Мощность пачки колеблется от 20 м до 30 м.

Общая позиция уванасского горизонта в мезозойско-кайнозойском разрезе характеризуется постоянно нарастающей мощностью с востока на запад и с севера на восток.

На северо-востоке в 50 км от поискового участка Тогускен она варьирует от 4 метров до 8 метров, а в 25 км на север – северо-восток она составляет 26-30 метров. На поисковом участке она колеблется от 70 метров до 75 метров. Сокращение мощности рудовмещающего горизонта в направлении с юго-запада на северо-восток обусловлено, прежде всего, условным несогласием между уванасом и интымакской морской толщей среднепозднеэоценового времени, которая на севере и востоке срезает часть уванасского горизонта.

Завершают палеогеновый разрез образования уюкского горизонта раннеэоценового времени (P_2^1uk) представленные прибрежно-морскими и аллювиально озерными осадками, на который с размывом и угловым несогласием налегают морские тонкослоистые глины интымакского горизонта (P_2^{2-3} im).

Суборогенный комплекс представлен красноцветными глинами и песками верхнеолигоцен-плиоценового возраста.

Структурно площадь поискового участка Тогускен располагается на части юго-западного склона пологозалегающего Кокшетауского вала. Поверхность фундамента имеет в целом падение в юго-западном направлении до 1^0.

В 2017 году специалистами «КазЗарубежГеология» была построена карта палеорельефа палеозойского фундамента района поискового участка в масштабе 1:10 000 по результатам ранее проведенных геофизических работ (гравиразведки, магниторазведки) с применением различных интерпретационных процедур программного комплекса КОСКАД 3D (разработка МГРИ г. Москва) и данных буровых скважин, вскрывших палеозойский фундамент.

Методы дистанционного зондирования с использованием новых технологий обработки цифровых космоснимков в разных диапазонах позволяют картировать разломы, как на открытых площадях (видимый диапазон частот, радиолокационная съемка), так и под чехлом рыхлых образований (тепловые каналы). Кроме того, обработка данных тепло-

вых каналов дает возможность выделять аномалии от погребенных структур (речные долины, унаследованные элементы приподнятых и опущенных блоков палеозойского фундамента и др.), т.к. различные фации чехла по теплофизическим свойствам существенно различаются. При выборе и подготовке цифрового космического снимка к обработке много внимания уделяется исключению различного рода помех, связанных с временем года, временем суток, облачностью и т.п. Иногда необходимо просмотреть десятки снимков, чтобы подобрать качественный. Особенно это относится к тепловым диапазонам, наиболее чувствительным к условиям съемки и теплофизическим параметрам изучаемой среды. Выполнение указанных условий и специализированная обработка дает новую дополнительную информацию, которая в комплексе с результатами обработки данных геофизических методов существенно повышает достоверность прогнозных построений.

Палеозойский фундамент поискового участка имеет довольно сложное строение, которое выражено в чередовании впадин и поднятий, рассеченных разрывными нарушениями северо-западного и субширотного направлений. На первый взгляд расположение этих структурных элементов хаотичное, но при внимательном рассмотрении устанавливается их северо-западная ориентировка. Наибольшее число прогибов в палеозойском фундаменте прослежено между профилями 68 и 124 и возрастает в юго-западном направлении, увеличиваясь не только в количестве, но и по площади (рис. 1).

По результатам проведенного поискового бурения АО «Волковгеология» были составлены карты рудоносности, литолого-геохимические и карты изопахит, продуктивной части уванасского разреза – нижней и средней пачек.

При совмещении карты палеозойского фундамента с литолого-геохимическими, отмечено, что осадконакопление проходило под влиянием морфологии палеозойского фундамента. На картах отчетливо прослеживается связь отрицательных структур с палеодолинным осадочным комплексом, в то же время на поднятиях формировался водораздельный комплекс осадков. Причем эта зависимость наиболее хорошо видна в нижней пачке уванасского горизонта, постепенно сглаживаясь вверх по разрезу. Та же связь устанавливается и на карте изопахит нижней и средней пачек уванасского горизонта. В понижениях рельефа мощность проницаемой части разреза возрастает с 25 м до 35 м, а на поднятиях сокращается от 25 м до 10-15 м. Сокращение мощности проницаемых отложений, как правило, связано с присутствием в разрезе горизонтов и линз глин. Области увеличения мощности глинистых отложений в разрезе хорошо картируются положительными аномалиями теплового поля (рис. 2), т.к. у глин теплофизические свойства почти вдвое выше, чем у песков, насыщенных водой. Это обстоятельство позволяет уже на начальном этапе изучения площади районировать ее, выделив перспективные участки для размещения поисковых скважин.

Ранее отмечалось, что преобладающая ориентировка структурных элементов палеозойского фундамента имеет северо-западное простирание, поэтому заложение и формирование основных фациальных комплексов (палеодолин, водоразделов) происходило унаследовано от палеорельефа. В зависимости от фильтрационной неоднородности разреза и ориентировки основных фациально-литологических зон ведет себя ЗПО, формирующая урановорудные тела. В более проницаемых участках разреза она выдвигается вперед, образуя передовые выступы, и отстает на участках с повышенным содержанием глин и мелкозернистых песков, формируя тыловые замыкания. На таких участках повы-

шается востановительная ёмкость проницаемого разреза за счёт скопления растительных остатков и других восстановителей. Таким образом, при общем меридиональном простирании зоны пластового окисления на участке Тогускен, её внутреннее строение, а соответственно и урановорудные тела, выглядят довольно сложно и ориентираваны в северо-западном направлении (рис.3).

В результате накопленного опыта при поисках инфильтрационных урановых месторождений может быть рекомендована следующая последовательность комплексных исследований геолого-геофизическими методами и методами дистанционного зондирования. На начальном этапе на площади проводится гравитационная и магнитная съемка, по данным которых с использованием новых процедур интерпретации и результатов картировочного бурения строится карта палеорельефа фундамента.

Одновременно проводится анализ имеющихся данных дистанционного зондирования и выбираются наиболее информативные космоснимки, включая тепловые диапазоны. На основании результатов обработки данных тепловых каналов строится карта распределения тепловых аномалий, по которой выделяются области предположительно с высокой и низкой проницаемостью разреза.

Совместный анализ полученных карт с привлечением имеющихся данных о ЗПО, как указывалось выше, позволяет выделить наиболее перспективные участки для размещения профилей поискового бурения.

На заключительном этапе в результате анализа данных бурения, каротажа, всех полученных результатов интерпретации геофизических материалов и данных дистанционного зондирования строятся литолого- геохимические карты по каждому продуктивному горизонту на основании которых принимается решение о перспективах площади и продолжении исследований.

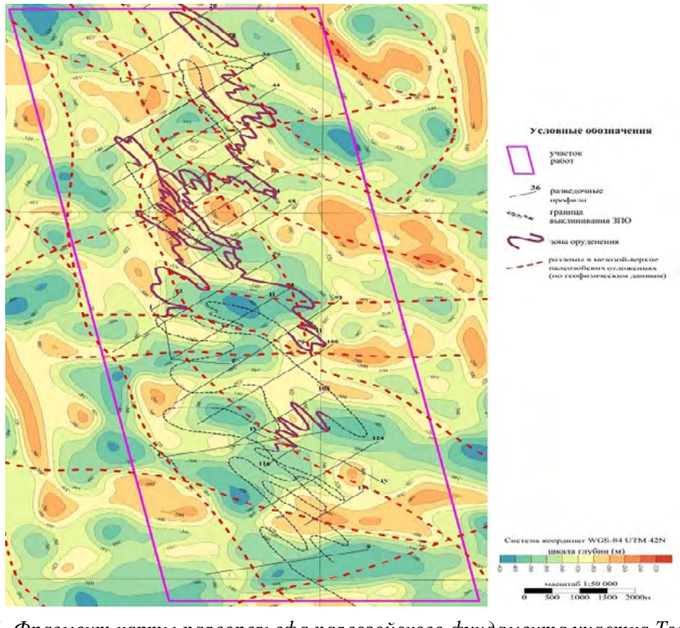


Рис.1. Фрагмент карты палеорельефа палеозойского фундамента участка Тогускен

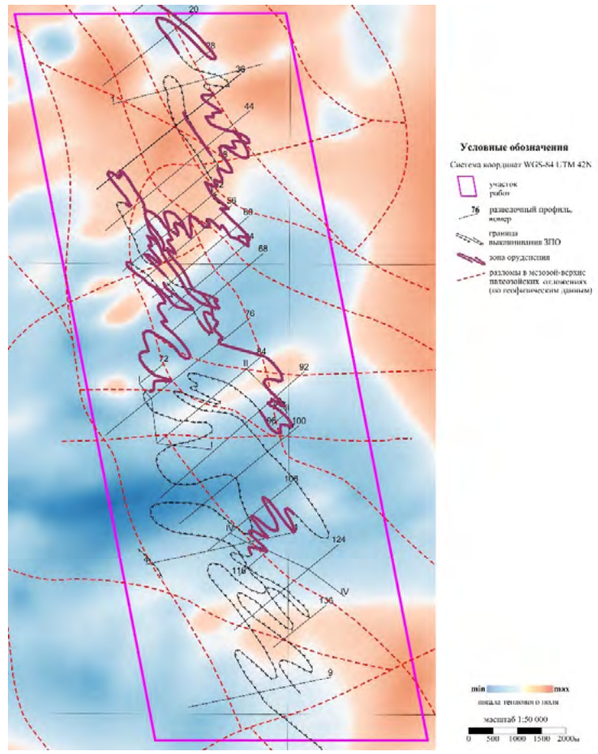


Рис.2. Карта распределения локальных аномалий теплового поля на участке Тогускен

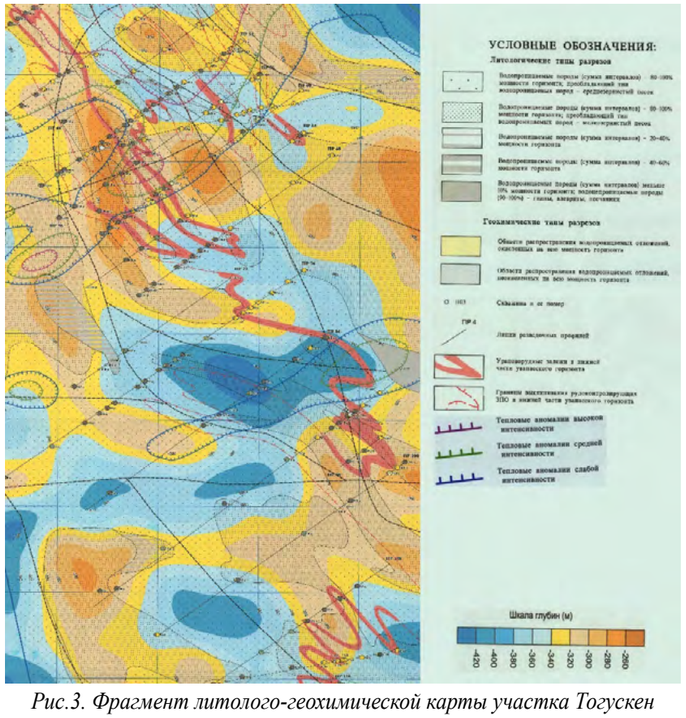


Рис.3. Фрагмент литолого-геохимической карты участка Тогускен

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТРАБОТКИ ВИСЯЧИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ

[1]Аманбай М.С., [1]Матаев М.М., [2]Толеуханов А.Е.
[1]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан,
[2]КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Способом подземного выщелачивания добываются многие полезные ископаемые. Среди наиболее промышленно значимых, можно выделить уран, медь, золото, молибден, ванадий и другие металлы. Эффективное моделирование динамики подземного выщелачивания является актуальной задачей, востребованной сегодня многими предприятиями горнодобывающей отрасли во всем мире.

Наиболее широко способ подземного выщелачивания начал применяться для добычи урана при отработке так называемых гидрогенных месторождений в 70-80-е годы прошлого столетия [1]. Уран, весьма концентрированный источник энергии. Это источник одного из самых дешевых и экологически чистых видов энергии. Производство энергии из ядерного топлива обеспечивает государствам - производителям наивысшую степень энергетической безопасности. Современные тенденции роста потребления электроэнергии, необходимость снижения вредного воздействия на окружающую среду, прогнозируемое удорожание и истощение традиционных углеводородных энергоресурсов создают растущую потребность в уране.

Несмотря на то, что мировая сырьевая база этого металла достаточно хорошо развита, предприятия-производители уже сегодня нуждаются в эффективных инструментах оптимизации стратегии его добычи, снижении себестоимости и, как результат, более рационального, комплексного использования недр. Математическое моделирование динамики скважинного подземного выщелачивания как раз является одним из таких инструментов [2].

К общим особенностям месторождений «песчаникового типа» Казахстана относятся следующие [3,4]:

1. Урановорудные залежи имеют протяженность вдоль границ пластовых зон окисления до 20-30 и более километров. В плане они образуют извилистые ленты шириной от 50 до 800 м, реже образуют изометрические тела. Для попереченых разрезов характерны различного рода ролловые формы-монороллы, сложные (каскадные) роллы, а также линзы и неправильные тела.
2. Урановые руды обычно бедны, со средним содержанием металла 0,035-0,07%. Контрастность руд обычно находится в прямой зависимости от содержания в породах углефицированного растительного вещества. Рудные залежи имеют относительно высокую среднюю мощность (3,5-8 м) и значительную продуктивность – в среднем 3-7,5 кг/м^2.
3. По составу рудных компонентов среди месторождений этого типа выделяются: собственно урановые; урановые с примесью рения; селено-урановые и урано-ванадиевые. Наряду с обводненностью продуктивных пластов, наличие верхних и особенно нижних, водоупорных горизонтов играет определяющую роль при освоении пластово-инфильтрационных месторождений урана.

Ограничивающие водоупоры (их распространение, литологический состав, мощность) контролируют локализацию, растекание и разубоживание продуктивных растворов [5-9]. Следует выделять региональные водоупоры, ограничивающие водоносные комплексы и горизонты, и местные водоупорные горизонты, ограничивающие водоносные подгоризонты.

По степени выдержанности ограничивающие водоупоры подразделяются на выдержанные (по площади и мощности) и линзующиеся.

Наличие надежных, выдержанных верхнего и нижнего водоупоров, свойственно месторождениям, весьма благоприятным для отработки способом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) и наоборот – их отсутствие делает неблагоприятными эти условия. Тем не менее, отработка т.н. висячих руд имеет место в последние несколько лет, с разной степенью успешности. Она определяется, в первую очередь, обоснованными интервалами постановки фильтров, что обеспечивает минимум проработки непродуктивных интервалов и минимальное разбавление ПР пластовыми водами. Во-вторых, рациональная отработка висячих руд обеспечивается балансами ПР и ВР для каждой ячейки (при гексагональной схеме вскрытия) и средневзвешенными объемами откачки-закачки для каждой откачной скважины, которые также должны находиться в балансе, для рядной схемы.

Одним из методов прогнозирования отработки висячих руд является моделирование.

Были рассмотрены следующие типы моделей:

первый – математические построения на основе формул динамики жидкости Дарси с учетом удельного веса растворов ПВ, был ранее разработан академиком Е.И. Роговым, и в данном отчете представлен в несколько переработанном виде, направленном на решение проблемы определения растекания растворов вниз по разрезу.

В практике отработки пластово-инфильтрационных урановых и других месторождений способом ПСВ часто встречаются такие условия залегания рудных тел, когда в них полностью в пределах блока или частично отсутствуют верхний и нижний водоупоры, или только один из них. При этой ситуации возникают гидродинамические процессы растекания растворов выше рудных тел и опускание растворов в нижележащие проницаемые горные породы. Растекание выщелачивающих и продуктивных растворов приводит к серьезным осложнениям в гидродинамике фильтрации растворов в пористых средах и, самое главное, к безвозвратной потере реагентов и металлов, а также к экологически негативным явлениям.

Во многих реальных ситуациях отработки блоков частично или полностью может отсутствовать верхний водоупор. Тогда весьма проблематично направлять потоки растворов по продуктивному пласту. Часть из потоков фильтруется вверх от продуктивного пласта. Теоретические решения о растекании раствора вокруг закачной скважины при отсутствии верхнего водоупора можно описать с помощью потенциального поля напоров H(R), существующего вокруг любой закачной скважины (ЗС) блока:

$$H(R) = B - A \times ln\, R \quad (1), \text{ где } A = \frac{10^2 Q_{ЗС}}{1{,}157 \cdot 2\pi \cdot K_Ф \cdot L_Ф} \quad (2) \text{ и } B = \frac{10^2 Q_{ЗС} \cdot \ell n R_o}{1{,}157 \cdot 2\pi \cdot K_Ф \cdot L_Ф}; \quad (3)$$

где $K_ф$ – среднее значение коэффициента фильтрации продуктивного пласта мощностью $L_ф$ – равной длине фильтра, м/сут; $Q_{зс}$ – приемистость ЗС, м³/сут; R_o – радиус ячейки, м.

Если верхний водоупор отсутствует, то объем закисленной ГРМ опишется интегралом:

$$V = \pi \int_{R_c}^{R_o} (B - A \cdot \ell nR)^2 \cdot d \cdot R \qquad (4)$$

или с учетом

$$f(R) = B^2 - 2B \cdot A \cdot \ell nR + A \cdot \ell n^2 \cdot R \qquad (5)$$

получим:

$$B^2 \int_{R_c}^{R_o} d \cdot R = B^2 \cdot (R_o - R_c)$$

$$2B \cdot A \int_{R_c}^{R_o} \ell nR \cdot d \cdot R = 2B \cdot A \cdot \left[(R_o - R_c) \cdot \left(\ell n R_o / R_c \right) - (R_o - R_c) \right] \qquad (6)$$

После необходимых операций по интегрированию и замены переменных получается:

$$A^2 \int_{R_c}^{R_o} \ell n^2 R \cdot d \cdot R = A^2 \left(R_o \cdot \ell n^2 R_o - R_c \cdot \ell n^2 R_c - 2R_o \cdot \ell nR_o + 2R_c \cdot \ell nR_c + 2R_o - 2R_c \right) \qquad (7)$$

Вследствие малости слагаемых, включающих R_c = 0,06 м, в дальнейшем ими можно пренебречь без потери точности расчетов закисленных объемов ГРМ над верхней плоскостью от фильтра ЗС:

$$M_{3C} = \pi \cdot \rho_П \cdot \left[\left(R_o \cdot \ell n^2 R_o - 2R_o \cdot \ell nR_o + 2R_o \right) - 2AB \cdot \left(R_o \cdot \ell nR_o - R_o \right) + B^2 R_o \right] \qquad (8)$$

где

$$A = \frac{10^2 Q_{3C}}{1{,}157 \cdot 2\pi \cdot K_Ф \cdot L_Ф} \quad (9) \quad \text{и} \quad B = A \times ln\, R_0 \qquad (10)$$

Подставим в значение $Q_{зс}$ из формулы:

$$Q_{3C} = \frac{1{,}157 \cdot 2\pi \cdot K_Ф \cdot L_Ф \cdot S_Н}{10^2 \ell n R_o / R_c} \text{ м}^3\text{/сут} \qquad (11)$$

Получим после преобразования при $A = \dfrac{S_Н}{\ell n R_o / R_c}$ и $B = \dfrac{\ell nR_o}{\ell n R_o / R_c} \cdot S_Н$ (12)

В итоге будем иметь ГРМ на одной ЗС при отсутствии верхнего водоупора:

$$M_{3C} = \pi \cdot \rho_П \cdot \left[\frac{S_Н^2}{\left(\ell n R_o / R_c \right)^2} \left(R_o \ell n^2 R_o - 2R_o \cdot \ell nR_o + 2R_o \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{2S_Н^2 \cdot \ell nR_o}{\left(\ell n R_o / R_c \right)^2} \left(R_o \cdot \ell n^2 R_o - R_o \right) + \frac{\ell n^2 R_o \cdot S_Н^2}{\left(\ell n R_o / R_c \right)^2} \cdot R_o \right] \qquad (13)$$

Или вместо сложной зависимости (13) по упрощенной формуле конуса имеем для верхней закисленной ГРМ:

$$M_{3C} = 0{,}262 \rho_П \cdot (R_o - S_o)^2 \cdot S_Н \text{ т} \qquad (14)$$

Теоретические решения о растекании раствора при отсутствии нижнего водоупора и определение глубины – H_o опускания растворов под действием сил гравитации

При отсутствии нижнего и верхнего водоупоров, помимо вертикальной фильтрации ВР и ПР происходят изменения – деформации потенциального поля напоров в прискважинной области ЗС.

Средняя горизонтальная скорость фильтрации раствора между ЗС и ОС определяется по нашей формуле [10]:

$$\overline{V}_Ф = \frac{1{,}157 \cdot \overline{K}_Ф \cdot (S_Н + S_О) \cdot \ell n \left(\ell n R_o / R_c \right)}{10^2 \cdot \overline{K}_П \cdot R_o} \text{ м/сут} \qquad (15)$$

Определим время, за которое раствор проходит путь Ro от ЗС к ОС:

$$t_Ф = \frac{R_o}{\overline{V}_Ф} = \frac{10^2 \cdot R_o^2 \cdot \overline{K}_П}{1{,}157 \cdot \overline{K}_Ф \cdot (S_Н + S_О) \cdot \ell n \left(\ell n R_o / R_c \right)} \text{ сут} \qquad (16)$$

За это время $t_ф$ раствор опустится на глубину:

$$H_О = t_Ф \cdot \frac{\gamma_Р - \gamma_В}{\gamma_В} \cdot \frac{K_{ФВ}}{\overline{K}_П} \text{ м} \qquad (17)$$

Подставляя $t_ф$ получаем:

$$H_О = \frac{86{,}4 \cdot R_o^2 \cdot (\gamma_р - \gamma_В) \cdot K_{ФВ}}{\overline{K}_Ф \cdot (S_Н + S_i) \cdot \gamma_В \cdot \ell n \left(\ell n R_o / R_c \right)} \text{ м} \qquad (18)$$

Следовательно, при отработке «висячих» залежей необходимо уменьшать радиус ячейки - R_o и снижать напоры - $S_н$.

Определение средней глубины опускания растворов

Рассмотрим ситуацию при отработке блоков без нижних водоупоров. Здесь опускание растворов происходит при сравнительно малых скоростях, но на большой площади – $S_б$ по линейному закону фильтрации. В этом случае расход ВР и ПР при уже полученной скорости для примера $V_в$ = 0,08 м/сут и площади $S_б = 60 \times 10^3$ м²:

$$\Delta Q_р = V_В \cdot S_\sigma \text{ или } \Delta Q_р = 0{,}08 \cdot 60 \cdot 10^3 = 4800 \text{ м}^3\text{/сут}$$

При наличии в блоке 40 закачных скважин с дебитом $Q_{зс}$ = 75 м³/сут. имеем суточный расход раствора:

$$N_{зс} \times Q_{зс} = 75 \times 40 = 3000 \text{ м}^3\text{/сут} \qquad (19)$$

При такой ситуации получается, что все растворы опустятся на величину 0,08 м или 8 см в сутки. Если, например, длина фильтра будет 6 м, то через 75 суток весь раствор уйдет

ниже уровня фильтра в откачных скважинах, что конечно не допустимо.

Для рассматриваемого примера получим при $\overline{K}_{Ф}$ = 6 м/сут. и $S_{н}$ = 50 м:

$$H_{О} = \frac{86{,}4 \cdot 2500 \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}8}{7{,}5 \cdot 55 \cdot 1{,}82} = 5{,}7 \text{ м} \qquad (20)$$

$$\text{Время } t_{Ф} = \frac{10^2 \cdot 2500 \cdot 0{,}2}{1{,}157 \cdot 6 \cdot 55 \cdot 1{,}82} = 71 \text{ дней}$$

Следовательно, продуктивный раствор под действием сил гравитации будет опускаться на глубину 5,7 м при отсутствии нижнего водоупора за 71 день.

Второй тип моделей – компьютерное моделирование гидродинамики и массопереноса на основе пакета GMS v 3.1. Использование GMS позволяет визуализировать скорости фильтрации как в разрезе, так и по латерали, при разных (фактических и проектных) положениях фильтров и разных объемах закачки-откачки. Такое комплексирование моделей позволяет повысить объективность полученных результатов и разработать рекомендации к отработке висячих руд при различных соотношениях фильтрационных характеристик рудного под- и надрудного горизонтов, различных дебалансах между откачкой и закачкой на уровне ячейки или блока, и различных (в том числе и неудачных) посадках фильтра.

Моделирование гидродинамики на участке 3 месторождения Буденновское

Гидродинамическая модель блоков участка 3 месторождения Буденновское создана при следующих входных условиях:

a) дебиты/приемистости скважин приняты как средние за 3 мес. работы от начала закисления;
b) приемистость скважин закачного ряда 3А2-1 (скв 3А2-1-19 – 3А2-1-15) приняты из расчета работы только в блок 2, т.е. приемистости искусственно уменьшены на степень влияния откачного рада 3А3-2 блока 3;
c) общая пористость принята как 0,23, активная как 0,18;
d) коэффициент фильтрации изотропен и составляет в среднем 12 м^3/сут;
e) коэффиуцент молекулярной диффузии 0,001.

Итоговая гидродинамическая модель представлена на рисунке 1.

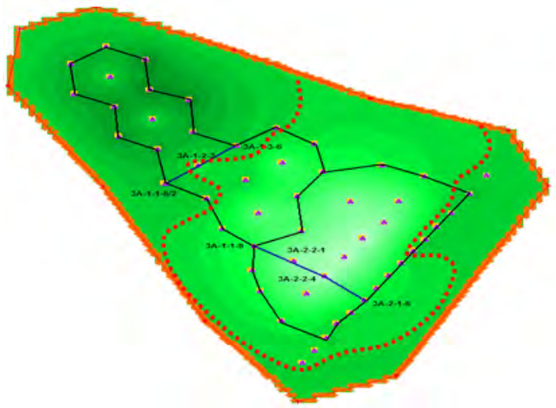


Рисунок 1. Гидродинамическая модель блоков 1 и 2 участка 3

Оттенки зеленого цвета обозначают депрессию в откачном ряде 3А2-1 (макс -5 м) и компрессию в ячейках 3А1-2-1 и -2-2 (+7 м макс для закачных скв 3А1-3-2, -3-3 и -3-4/1). Показаны модельные разрезы для моделирования гидродинамики между скв 3А-1-16\2 – 3А1-2-3 – 3А1-3-6 и 3А-1-1-9 – 3А-2-2-1 – 3А-2-2-4 – 3а-2-1-6. Красным штрихом показана область развития депрессионной воронки.

Из модели линий тока, представленной на рисунке 2, которая строится на основании гидродинамической модели можно предполагать растекание растворов за пределы полигона в гексагональной части, в то время как в переходной между гексагоном и рядами частью предполагается недостаток закачки.

Более того, на основе этой модели могут быть намечены зоны отсутствия взаимодействия между скважинами в едином гидродинамическом поле. Красной кривой показаны области недостатка и избытка закачных объемов. Зеленым штрихом – граница между взаимодействующими откачными-закачными скважинами. Иными словами, взаимодействия между откачными скв блока 1 и закачными блока 2 (равно как и наоборот) не происходит.

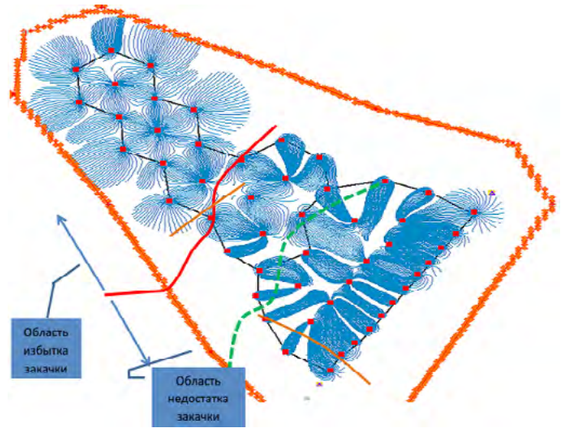


Рисунок 2. Модель линий тока блоков 1 и 2 участка 3. Оранжевыми линиями показаны модельные разрезы для моделирования гидродинамики

Моделирование латерального растекания растворов за пределы полигона

Интегральный расчет балансов по блокам производится с помощью опции flow budget, и составляет:

a) для блока 1: закачка +2 521,7 м^3/сут, откачка -1 437,6 м^3/сут;
b) для блока 2: закачка +1 874,5 м^3/сут, откачка -2 580,0 м^3/сут;
c) суммарно по двум блокам: закачка +4 092 м^3/сут, откачка -3 691 м^3/сут (разница между арифметическими суммами и расчетом в flow budget обусловлена двойным учетом скважин на границе блоков 1 и 2). Итак, для блока 1 участка 3 характерен избыток закачки (недостаток откачки) в объеме почти 1 100 м^3/сут, для блока 2 – недостаток закачки более чем в 700 м^3/сут.

Для численного моделирования растекания растворов за пределы полигона применяется модуль RT3D. Для наших условий удобно воспользоваться опцией tracer transport, моделируя поведение сульфат-иона, как соединения, практически не имеющего хими-

ческих взаимодействий в среде (ничтожное количество сульфата, удалающееся в виде соединения с уранилом может не приниматься во внимание). Как результат, модель показывает распространение некоего избытка сульфата над природным фоном, что может быть связано с растеканием растворов за пределы полигонов. Модель построена в интервале 15-90 дней от начала закисления с шагом 15 дней (рисунок 3).

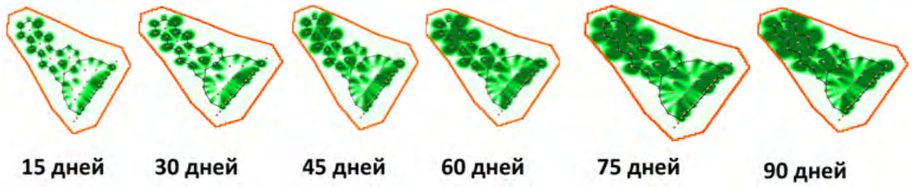


Рисунок 3. Распространение сульфата через 15 дней после начала закисления

Красным штрихом показан уровень максимального распространения сульфатного загрязнения в существующем гидродинамическом поле при содержании выше 1 г/л. Итак, видно, что смоделированное максимальное растекание растворов за пределы полигона составляет около 70 м в ССВ направлении от скважины 3А-1-3-2. Но, следует понимать, что моделирование выполнено в кондициях идеального трассера, т.е. без учета комплекса химических взаимодействий. Такая модель учитывает продольную дисперсию скоростей фильтрации и диффузионную составляющую, т.е. только физические характеристики моделируемой динамики, но не редукцию концентраций за счет химических взаимодействий. Для более точного прогноза необходимо ввести коэффициент замедления, который позволяет в интегральной форме учесть все химические взаимодействия (удобно для целей моделирования процессов) [11].

ВЫВОДЫ

1. Компьютерные модели удовлетворительно визуализируют динамику растворов между откачной - закачной скважинами в условиях выраженного дебаланса. Представлены иллюстрации застойных зон и зон законтурного растекания на конкретных примерах по участку 3 месторождения Буденновское.
2. В условиях резких дебалансов между объемами откачки и закачки моделируется возникновение обширных застойных зон в низах разрезов участка 3. Их проработка – при конкретных фильтрационных характеристиках – невозможна без сооружения дополнительных закачных скважин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Мамилов В.А., Петров Н.Н. и Шушания Г.Р.*** Добыча урана методом подземного выщелачивания/Москва: Атомиздат, 1980.
2. ***Канцель А.А.*** Математическое моделирование динамики процесса подземного выщелачивания в неоднородном рудоносном слое / Москва, 2010.
3. ***Петров Н.Н.*** Эпигенетические пластово-инфильтрационные урановые месторождения Казахстана. Геология Казахстана, 1998, - №2, с. 22-39.
4. ***Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б., Плеханов В.И., Вершков А.Ф., Лухтин В.Ф.*** Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алматы, Гылым, 1995, с. 264.
5. ***Бровин К.Г., Грабовников В.А., Шумилин М.В., Язиков В.Г.*** Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки подземным выщелачиванием. Алматы, Гылым, 1997, с. 384.
6. Геологическое строение и урапоносность Чу-Сарысуйской провинции. Под ред. Грушевого Г.В. – Ленинград, 1980, с. 180.
7. Гидрогенные месторождения урана. Под ред. Перельмана А.И. - Москва, - 1980, с. 270.
8. Основы прогноза урановорудных провинций. Под ред. Лаверова – Москва; Недра, 1986, с. 206.
9. ***Каримов Х.К., Бобоноров Н.С., Бровин К.Г. и др.*** Учкудукский тип урановых месторождений Республики Узбекистан. Ташкент, 1996, с. 233.
10. ***Рогов А.Е., Рыспанов Н.Б.*** Математические основы геотехнологий. Алматы, 2007, 368 с.
11. ***Копбаева М.П., Разуваева Т.В., Жумабаева Д.С.*** Совершенствование и обновление геотехнологических методов, Алматы, 2011.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СОПРОВОЖДЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН

Койлубаев Э.С., Бейсеитов Д.А.
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Сооружение скважин требует точного соблюдения технологии бурения и непрерывного контроля основных параметров процесса бурения. Специалистами ТОО «ИВТ» по заказу АО «НАК «Казатомпром» разработана автоматизированная система сопровождения сооружения геотехнологических скважин (АССС).

На рисунке 1 приведена структура автоматизированной системы сопровождения сооружения геотехнологических скважин (ГТС).

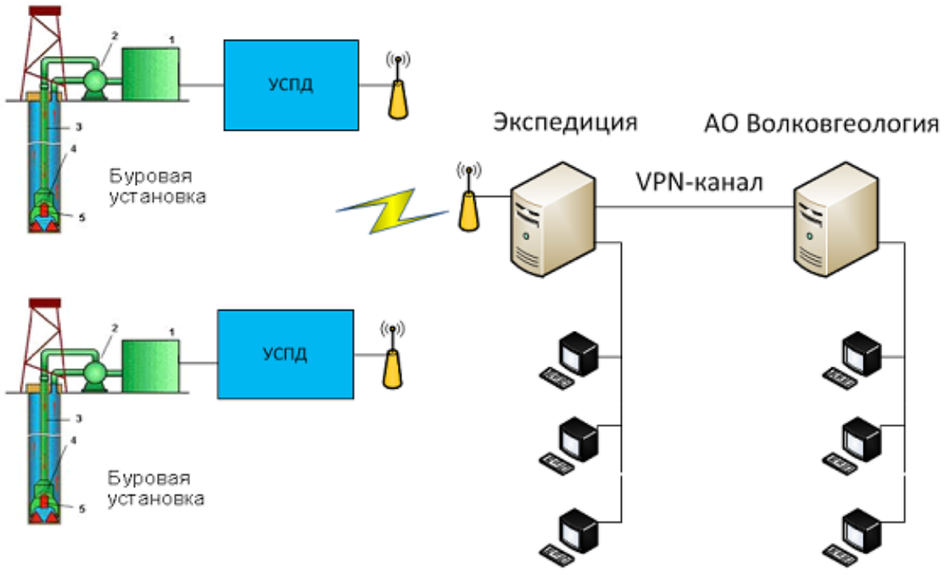


Рисунок 1. Структура АССС

Система состоит из двух уровней:
— уровень буровой;
— уровень экспедиции.

Функции уровня буровой – сбор данных с датчиков системы, установленных на основных узлах буровой установки, их обработка, отображение на АРМ буровика и на табло бурильщика и передача на уровень экспедиции.

Функции уровня экспедиции – прием данных с уровня буровой, обработка, отображение на АРМ диспетчера, хранение в базе данных системы.
Параметры, контролируемые системой:
— на входе в скважину – расход, давление;
— на выходе из скважины – расход, давление;
— вес бурильной колонны, осевая нагрузка на долото;

— крутящий момент вращения, количество оборотов;
— энергопотребление электродвигателей бурового станка и бурового насоса.

Принцип работы системы. Сигналы с датчиков через модули коммутации поступают на устройство сбора и передачи данных (УСПД), табло бурильщика, а затем через радиоканал – на сервер АССС.

Программное обеспечение (ПО) уровня буровой позволяет в реальном времени:
— принимать данные с датчиков;
— обрабатывать данные;
— визуализировать данные;
— производить расчёт параметров, участвующих в контроле за процессом бурения, и оповещать оператора о возможных аварийных ситуациях;
— просчитывать в реальном времени математическую модель процесса бурения и оповещать оператора об отклонении от расчётной модели;
— передавать регистрируемые данные с буровой в диспетчерскую экспедиции;
— сохранять полученные (прямые и расчётные) данные в базе данных реального времени;
— контролировать процесс бурения и вести журнал работы.

В режиме off-line ПО позволяет осуществлять:
— ввод информации по скважине;
— диалоговую работу с буровым мастером, которая позволяет моделировать процесс путём ввода тестовых данных;
— просматривать данные из базы реального времени;
— производить распечатку данных в виде графиков в масштабе времени.

Визуализация данных на АРМ буровика осуществляется в графическом и табличном видах (рисунки 2, 3).

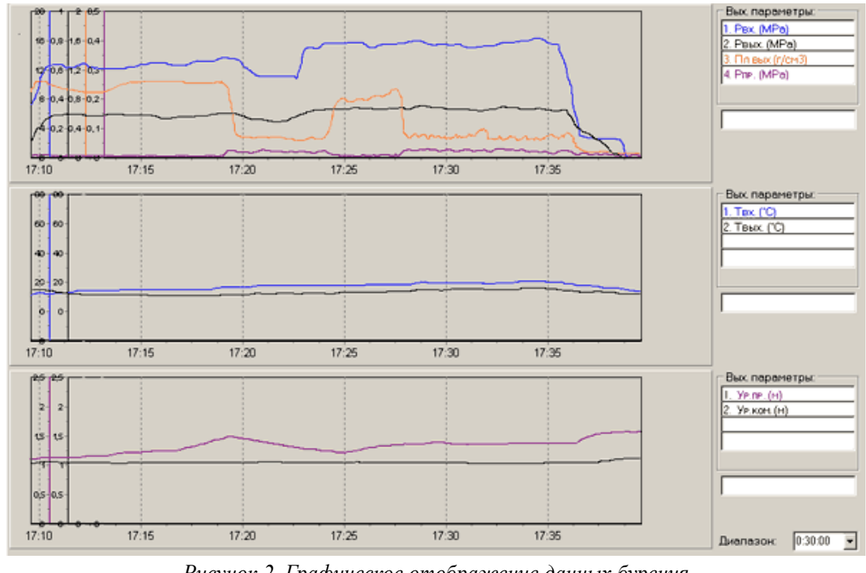


Рисунок 2. Графическое отображение данных бурения

Отчет АССС

Время	Нагрузка	ДавлениеРастворa	ВесНаКрюке	Момент Вращения	Глубина	ГидравлическаяМощность	Частота Вращения	Расход НаВх	Расход НаВых	МеханическаяСкоростьБур	СкоростьВП
18.08.2016 12:07:41	200,00	10,00	8,00	0,00							
18.08.2016 12:07:41	200,00	10,00	8,00	0,00	0,00	0,00	200,00	200,00			
18.08.2016 12:07:41	200,00	10,00	8,00	0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	180,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:42	200,00	10,00	8,00	37,00	0,00	0,00	200,00	200,00	180,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:42	200,00	10,00	8,00	37,00	0,00	0,00	205,00	200,00	180,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:42	200,00	10,00	8,00	37,00	0,00	0,00	205,00	202,00	180,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:43	205,00	10,00	8,00	37,00	0,00	0,00	205,00	202,00	180,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:43	205,00	14,00	8,00	133,00	0,00	0,00	205,00	202,00	180,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:43	205,00	14,00	8,00	133,00	3,00	0,00	205,00	202,00	180,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:43	205,00	14,00	8,00	133,00	3,00	0,00	205,00	204,00	181,00	10,00	0,00
18.08.2016 12:07:43	205,00	14,00	8,00	133,00	3,00	0,00	205,00	204,00	181,00	13,00	0,00
18.08.2016 12:07:44	210,00	14,00	8,00	133,00	3,00	0,00	205,00	204,00	181,00	13,00	0,00
18.08.2016 12:07:44	210,00	15,00	8,00	133,00	3,00	0,00	205,00	204,00	181,00	13,00	0,00
18.08.2016 12:07:44	210,00	15,00	8,00	161,00	5,00	0,00	205,00	204,00	181,00	13,00	0,00
18.08.2016 12:07:44	210,00	15,00	8,00	161,00	5,00	0,00	210,00	204,00	181,00	13,00	0,00

Рисунок 3. Табличное отображение данных бурения

Параметры бурения буровой мастер может наблюдать также на табло бурильщика (рисунок 4).

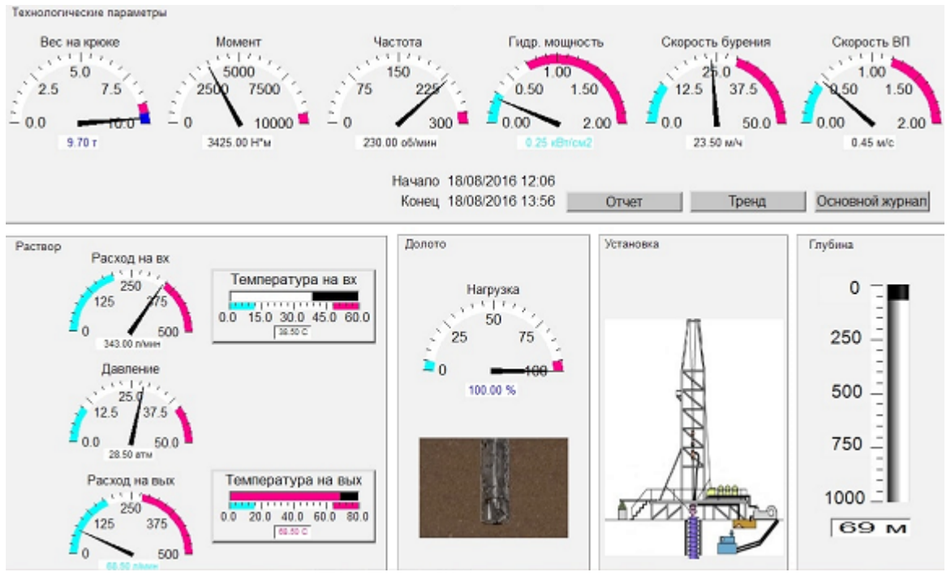


Рисунок 4. Мнемосхема процесса бурения

Буровой мастер визуально наблюдает за процессом бурения по цифровым индикаторам.

Данный режим вывода является наиболее наглядным и удобным для восприятия.

Программное обеспечение уровня экспедиции позволяет:
- — принимать данные с буровых установок;
- — обрабатывать данные;
- — визуализировать данные на АРМ диспетчера;
- — сохранять полученные данные в базе данных системы;
- — дублировать информацию на другом компьютере посредством сети для работы системы на нескольких компьютерах;
- — контролировать процесс бурения и вести журнал работы;
- — просматривать данные из базы реального времени;
- — производить распечатку данных в виде графиков в масштабе времени.

Комплексное информационное обеспечение процесса бурения позволит:
- — усовершенствовать систему контроля процесса бурения;
- — повысить эффективность бурения ГТС;
- — решать задачи оперативного контроля процесса бурения;
- — контролировать и своевременно корректировать параметры процесса бурения.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАНА ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА

[1]Аманбай М.С., [2]Мырзабек К.А.,
[3]Молдакулов Н.З., [3]Ефремов А.М. [3]Лукоянов А.В.
[1]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан.
[2]ТОО «Семизбай-U», Астана, Казахстан.
[3]АО «Волковгеология», Алматы, Казахстан.

Уран в настоящее время – один из важнейших энергоносителей. Основной источник урана для обеспечения растущих потребностей ядерной энергетики - урановые месторождения. Месторождения урана имеют различный возраст и происхождение и размещаются в различных геологических обстановках. Выделяют три генетические формационные группы месторождений:

1. эндогенные (гидротермальные, гидротермально-метасоматические) месторождения зон разновозрастной тектоно-магматической активизации, связанные с гидротермальными процессами (щелочным или кислотным метасоматозом);
2. экзогенные, включающие:
   а) инфильтрационные (песчаниковые – по классификации МАГАТЭ) месторождения, возникшие в результате деятельности подземных (грунтовых и пластовых) вод в осадочных толщах активизированных депрессионных структур земной коры (чехлах платформ, палеодолинах, орогенных впадинах);
   б) синдиагенетические (сорбобиогенные) в платформенном чехле;
3. сложные (телескопированные) полигенные или полихронные месторождения, совмещающие признаки эндогенных и экзогенных процессов и проявленные на щитах вблизи региональных зон докембрийских структурно-стратиграфических несогласий (ССН) и в зонах складчато-разрывных дислокаций (СРД), а также в подвижных поясах - в зонах разломов, рассекающих высокорадиоактивные граниты и другие породы.

Среди достаточно большого числа урановых месторождений, вовлекаемых промышленностью в освоение, особый интерес вызывают эпигенетические (инфильтрационные или гидрогенные) урановые месторождения, локализованные в водоносных горизонтах проницаемых осадочных пород. Этот интерес во многом обусловлен возможностью их отработки методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), получившим развитие с начала 70-х годов прошлого столетия. Применение метода ПСВ, кроме экономических факторов, позволяет существенно улучшить условия труда и уменьшить отрицательное воздействие процесса добычи на окружающую среду в сравнении с традиционным горным способом. Месторождения этого типа составляют в настоящее время основу сырьевой базы урана в Республике Казахстан.

Геофизические работы (в том числе каротаж скважин) сопровождают все стадии изучения урановых месторождений – начиная от прогнозных исследований и подготовки площадей к проведению поисковых работ, до детальной и эксплуатационной разведки.

На стадиях поисков и разведки данные каротажа используют для решения следующих задач:
а) исследование геологического разреза и свойств пород продуктивного горизонта;

б) определение параметров рудных по урану интервалов.

На стадии эксплуатации каротаж используется для решения следующих задач:
а) учет запасов и контроль над процессом отработки;
б) контроль состояния природной среды.

Одним из основных геофизических методов исследования состава и свойств горных пород и руд является гамма-каротаж (ГК)- метод, основанный на измерении вдоль ствола скважины характеристик поля гамма-излучения, сопровождающего распадом естественных радионуклидов – U, Th и K. Различают интегральный ГК (основанный на измерении интегральной характеристики поля гамма-излучения) и спектрометрический (основанный на измерении характеристик спектра гамма-излучения).

Гамма-каротаж в режиме интегрального счета применяют повсеместно на всех стадиях поисков, разведки и эксплуатации месторождений урана с целью определения параметров рудных интервалов при подсчете и учете запасов урана в недрах. Интегральный ГК входит также в состав основного комплекса исследования месторождений некоторых других видов минерального сырья, включая нефть и газ. Но поскольку основными источниками гамма-излучения в урановом ряду являются короткоживущие продукты распада радона, то результат измерений при ГК будет зависеть не только от содержания урана в рудном интервале, но и от степени сохранности геохимической системы «уран-радий-радон», то есть от степени нарушения радиоактивного равновесия между «материнскими» и «дочерними» радионуклидами.

Гамма-каротаж в режиме спектрометрии гамма-излучения применяют для оценки массовых долей естественных радионуклидов в горных породах и используют эту информацию при построении литологического разреза и оценки запасов минерального сырья, генетически или парагенетически связанного с содержаниями радиоактивных элементов.

Инфильтрационные (гидрогенные) месторождения урана характеризуются нарушением радиоактивного равновесия между радием и ураном как в плане, так и в разрезе. И это обстоятельство существенно ограничивает возможности метода ГК при определении параметров для подсчета и учета запасов. Кроме того, для оптимальной организации процесса ПСВ необходимо иметь полное представление о литологическом составе пород продуктивного горизонта, который определяет их фильтрационные свойства. Поэтому предметом детальных исследований гидрогенных месторождений является не только руда, но и весь продуктивный горизонт (вмещающие руду осадочные породы), а также водоупоры (перекрывающие и подстилающие продуктивный горизонт непроницаемые породы). В то же время гамма-каротаж - является основным поставщиком измерительной информации о составе и свойствах рудных тел на всех стадиях промышленного освоения пластово-инфильтрационных (гидрогенных) месторождений урана - поиски, разведка, эксплуатация месторождения - вплоть до ликвидации рудника. Информация, получаемая при гамма-каротаже, является также определяющей при сооружении технологических скважин на стадии подготовки месторождений к эксплуатации методом ПСВ, а так же в период непосредственной отработки месторождений.

Для изучения литолого-фильтрационных особенностей руд продуктивного горизонта на урановых месторождениях пластово-инфильтрационного типа привлекают стандарт-

ный электрокаротаж методами «кажущегося сопротивления» (КС) и естественной поляризации (ПС) А для выделения рудных по урану интервалов данные ГК дополняют результатами геологического опробования керна и/или (при необходимости) данными каротажа мгновенных нейтронов деления (КНД-М), который является «прямым» методом определения урана.

При отработке пластово-инфильтрационных месторождений урана геофизическим методам исследований в скважинах отводится особое место и роль. Связано это, прежде всего, с тем, что подавляющее большинство скважин в этом случае проходятся без отбора керна. Поэтому геофизические исследования скважин (ГИС) являются практически единственной информационной поддержкой всех разноплановых видов работ, выполняемых при отработке этих месторождений.

Наибольший интерес представляет метод гамма-каротажа, результаты которого непосредственно используются при подсчете запасов урана и контроле процесса добычи. Результаты интерпретации геофизических данных этого метода являются исходными для получения параметров оруденения (глубина залегания, мощность рудных тел, среднее содержание полезного компонента).

В настоящее время нормативным документом, регламентирующим постановку и проведения каротажа на гидрогенных месторождениях урана в РК, является «Инструкция по применению гамма-каротажа на пластово-инфильтрационных месторождениях урана» (далее – «Инструкция…») Алматы 2009 г., срок действия которой, как Методики выполнения измерений утратил силу 06.04.2014 г.

С момента выпуска этого документа теория и практика каротажа получила свое дальнейшее развитие, в связи с чем ряд положений методики и технологии проведения каротажа, а также интерпретации его результатов, устарела и требовала пересмотра и корректировки.

В связи с этим для обеспечения требуемого качества данных гамма-каротажа необходимо было актуализировать основные положения и требования «Инструкции…» на основе накопленного опыта, современной цифровой аппаратуры, новых методических разработок и программного обеспечения.

ТОО «Институт высоких технологий» совместно с ТОО «Геотехносервис» и главным научным сотрудником ФГУ НПП «Геологоразведка» Хайковичем И.М., разработали «Инструкцию МВИ (методика выполнения измерений) по гамма- каротажу на пластово – инфильтрационных месторождениях урана».

Данная «Инструкция МВИ» составлена на основе обобщения теоретических, методических и аппаратурных разработок и накопленного за последние десятилетия практического опыта проведения гамма-каротажа на этапах разведки, подготовки к освоению и эксплуатации месторождений урана пластово-инфильтрационного типа на территории РК и РФ. В «Инструкции МВИ» сформулированы задачи каротажа, требования к аппаратуре и оборудованию, порядок подготовки аппаратуры, технология проведения каротажа, методика интерпретации материалов, приемы оценки достоверности. «Инструкция МВИ» отражает современный уровень методического и технического состояния метода гамма-каротажа на уран, и соблюдение ее требований позволит обеспечить

получение измерительной информации о составе и свойствах рудных по урану интервалов с погрешностью, соответствующей требованиям при подсчете и учете запасов урана в недрах – не более 25 см по мощности и 25% по метропроценту.

«Инструкция МВИ» составлена в соответствии с нормативными документами: ГОСТ 8.010-90 (Методики выполнения измерений), СТ РК 2.1-2009 (Термины и определения), Закон РК Об обеспечении единства измерений, СТ РК 2.18-2003, Дополнение к Инструкции ГКЗ РК по применению классификации запасов к месторождениям радиоактивных руд. Требования настоящей инструкции при проведении гамма-каротажа распространяются на все этапы работ на месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа. «Инструкция МВИ» согласована с РГКП «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга» от 08.07.2015г (проведена санитарно-эпидемиологическая экспертиза) и внесена в реестр Государственной системы обеспечения единства измерений Республики Казахстан.

«Инструкция МВИ по гамма-каротажу на гидрогенных месторождениях урана пластово-инфильтрационного типа» предназначена для применения всеми геофизическими организациями и недропользователями, независимо от их ведомственной подчиненности и форм собственности, и содержит перечень основных требований, предъявляемых к выполнению гамма-каротажа на стадиях поисковых и оценочных работ, а также на стадии промышленной разработки пластово-инфильтрационных месторождений урана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений. – М.: Министерство геологии СССР, 1987.
2. Инструкция по гамма-каротажу на пластово-инфильтрационных месторождениях урана. – РК.: ОАО «Казатомпром», Алматы, 2009.
3. Инструкция по применению классификации запасов к гидрогенным месторождениям урана (Дополнение к Инструкции ГКЗ РК по применению классификации запасов к месторождениям радиоактивных руд), Астана, 2008 г.
4. ***Хайкович И.М., Шашкин В.Л.*** Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. Теория и методика. – М.: Энергоатомиздат, 1982.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ U-FeS_2-H_2S-ВОДА ДЛЯ УСЛОВИЙ ЗАКИСЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ ПРИ СПВ УРАНА

Пастухов А.М., Скрипченко С.Ю.
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

Выбор технологических параметров скважинного подземного выщелачивания (СПВ) зависит не только от формы нахождения урана, но и от состава рудовмещающих пород. Высокое содержание двухвалентного железа, органических соединений и сульфидных минералов способствует возникновению условий для восстановления соединений шестивалентного урана, что резко увеличивает срок выработки рудника, приводит к росту эксплуатационных затрат и себестоимости готовой продукции [1-4]. В данной работе рассмотрено влияние сульфидных минералов, прежде всего пирита, на миграционную способность растворённых в выщелачивающих растворах окисленных форм урана при скважинном сернокислотном выщелачивании. Проведены термодинамические расчёты для реакций восстановления шестивалентного урана до четырехвалентного состояния сульфидными минералами и сероводородом при pH 1,0-7,0. Исследования проводились с целью определения необходимости применения искусственных окислителей на стадии закисления продуктивного пласта при подземном сернокислотном выщелачивании урана.

В ходе рассмотрения термодинамической модели процесса СПВ урана на стадии закисления продуктивного пласта и стадии активного выщелачивания был проведен расчёт изменения свободной энергии (ΔGp) и значений потенциала (Eh) для системы U–FeS_2–H_2S–H_2O включающей следующие реакции:

$$UO_2SO_4 + FeS_2 + 2\ H_2SO_4 \rightarrow U(SO)_2 + FeSO_4 + 2\ S + 2\ H_2O \quad (1)$$

$$UO_2SO_4 + FeS_2 + 2\ H2O \rightarrow U(OH)_4 + FeSO_4 + 2\ S \quad (2)$$

$$UO_2SO_4 + H_2S + H_2SO_4 \rightarrow U(SO_4)_2 + S\downarrow + 2\ H_2O \quad (3)$$

$$UO_2SO_4 + H_2S + 2\ H2O \rightarrow U(OH)_4 + S\downarrow + H_2SO_4 \quad (4)$$

$$UO_2(OH)_2 + H_2S \rightarrow U(OH)_4 + S\downarrow \quad (5)$$

$$H_2S - 2\ \bar{e} \rightarrow S\downarrow + 2\ H+,\ E0 = 0{,}171\ В \quad (6)$$

Критерий самопроизвольности протекания каждой реакции рассматривался отдельно, считая, что в целом вся система будет не равновесна. Расчёт изменения свободной энергии реакции проводили по уравнению:

$$\Delta G_p = \sum G^0 + R \cdot T \cdot ln \frac{a_c \cdot a_d}{a_a \cdot a_b} \quad (7)$$

где ΔG^0 – изменение стандартной энергии реакции – ($\sum \Delta G^0_{\text{продукты р-ции}} - \sum \Delta G^0_{\text{исх в-ва}}$);
aa, ab, ac, ad – активности компонентов реакции.

Стандартные значения свободной энергии исходных веществ и продуктов реакции были взяты из справочной литературы [5]. Расчёт изменения свободной энергии реакций (1) и (2) проведен для реальных выщелачивающих растворов, содержащих 10^{-5}÷10^{-2} моль/л Fe(II), 10^{-6}÷10^{-3} моль/л U(VI) и pH = 1,0-5,5. Для реакций (3)-(5) расчеты проведены для реальных выщелачивающих растворов, содержащих 10^{-6}÷10^{-3} моль/л H_2S, 10^{-6}÷10^{-3} моль/л U(VI), 10^{-6}÷10^{-3} моль/л U(IV) и pH = 1,0-7,0.

Согласно результатам расчетов, представленных в таблицах 1 и 2, при СПВ урана на стадии активного выщелачивания пирит является возможным восстановителем для растворенных форм урана, который присутствует в виде иона уранил-иона UO_2^{2+}. При pH ≥ 4 восстановление ионов уранил-ионов пиритом термодинамически невозможно. Поэтому на стадии закисления новых блоков восстановление шестивалентного урана возможно только в зоне кислых растворов.

Таблица 1. Значения изменения свободной энергии (кДж/моль) реакции (1) при различном солевом составе раствора

pH раствора	U^{4+}/UO_2^{2+}	Равновесная концентрация Fe^{2+}, моль/л			
		0,01	0,001	0,0001	0,00001
1,0	0,01	-122,7	-128,4	-134,1	-139,8
	0,1	-117,0	-122,7	-128,4	-134,1
	1	-111,3	-117,0	-122,7	-128,4
	10	-105,6	-111,3	-117,0	-122,7
	100	-99,9	-105,6	-111,3	-117,0
2,0	0,01	-111,3	-117,0	-122,7	-128,4
	0,1	-105,6	-111,3	-117,0	-122,7
	1	-99,9	-105,6	-111,3	-117,0
	10	-94,1	-99,9	-105,6	-111,3
	100	-88,4	-94,1	-99,9	-105,6
3,0	0,01	-99,9	-105,6	-111,3	-117,0
	0,1	-94,1	-99,9	-105,6	-111,3
	1	-88,4	-94,1	-99,9	-105,6
	10	-82,7	-88,4	-94,1	-99,9
	100	-77,0	-82,7	-88,4	-94,1
4,0	0,01	-88,4	-94,1	-99,9	-105,6
	0,1	-82,7	-88,4	-94,1	-99,9
	1	-77,0	-82,7	-88,4	-94,1
	10	-71,3	-77,0	-82,7	-88,4
	100	-65,6	-71,3	-77,0	-82,7

Растворение сульфидных минералов тяжелых металлов, содержащихся во вмещающих породах продуктивного горизонта, в кислой среде сопровождается образованием сероводорода. Поэтому для оценки возможности протекания процессов восстановления шестивалентного урана сероводородом, растворенным в выщелачивающем растворе, был проведен расчет изменения сводной энергии для реакций (3)-(5) системы U–FeS_2–H_2S–H_2O. Согласно результатам термодинамических расчетов, представленных в таблицах 3 и 4, на стадии закисления пласта сероводород, образующийся в ходе растворения сульфидных минералов в кислой среде, способен восстанавливать уран(VI) до урана(IV) при pH < 4. При этом на фронте переноса кислых растворов при pH > 4,0

возможно осаждение четырехвалентного урана в виде гидроксида. Восстановление соединений шестивалентного урана сероводородом за счет реакций (4) и (5) при pH > 4,0 невозможно.

Таблица 2. Значения изменения свободной энергии (кДж/моль) реакции (2) при различном солевом составе раствора при pH = 4,0-5,5

Равновесная концентрация UO_2^{2+}, моль/л	Равновесная концентрация Fe^{2+}, моль/л			
	0,01	0,001	0,0001	0,00001
0,001	17,1	11,4	5,7	0,0
0,0001	22,8	17,1	11,4	5,7
0,00001	28,5	22,8	17,1	11,4
0,000001	34,2	28,5	22,8	17,1

На стадии активного выщелачивания восстановление шестивалентного урана сероводородом при pH < 4 маловероятно. В этих условиях сероводород будет восстанавливать ионы трехвалентного железа, которые являются окислителем для минеральных форм четырехвалентного урана. Таким образом, если вмещающие породы продуктивного горизонта содержат сульфидные минералы, необходимо обязательно учитывать влияние сероводорода, образующегося за счет их растворения в кислой среде, на процесс скважинного подземного выщелачивании урана.

Таблица 3. Значения изменения свободной энергии (кДж/моль) реакции (3) при различном солевом составе раствора

pH раствора	U^{4+}/UO_2^{2+}	Равновесная концентрация H_2S, моль/л			
		0,001	0,0001	0,00001	0,000001
1,0	0,01	-97,2	-91,5	-85,8	-80,1
	0,1	-91,5	-85,8	-80,1	-74,4
	1	-85,8	-80,1	-74,4	-68,6
	10	-80,1	-74,4	-68,6	-62,9
	100	-74,4	-68,6	-62,9	-57,2
2,0	0,01	-85,8	-80,1	-74,4	-68,6
	0,1	-80,1	-74,4	-68,6	-62,9
	1	-74,4	-68,6	-62,9	-57,2
	10	-68,6	-62,9	-57,2	-51,5
	100	-62,9	-57,2	-51,5	-45,8
3,0	0,01	-74,4	-68,6	-62,9	-57,2
	0,1	-68,6	-62,9	-57,2	-51,5
	1	-62,9	-57,2	-51,5	-45,8
	10	-57,2	-51,5	-45,8	-40,1
	100	-51,5	-45,8	-40,1	-34,4
4,0	0,01	-62,9	-57,2	-51,5	-45,8
	0,1	-57,2	-51,5	-45,8	-40,1
	1	-51,5	-45,8	-40,1	-34,4
	10	-45,8	-40,1	-34,4	-28,7
	100	-40,1	-34,4	-28,7	-23,0

Таблица 4. Значения изменения свободной энергии (кДж/моль) реакции (4) при различном солевом составе раствора

pH раствора	Равновесная концентрация UO_2^{2+}, моль/л	Равновесная концентрация H_2S, моль/л			
		0,001	0,0001	0,00001	0,000001
4,0	0,001	99,6	105,3	111,0	116,7
	0,0001	105,3	111,0	116,7	122,4
	0,00001	111,0	116,7	122,4	128,1
	0,000001	116,7	122,4	128,1	133,8
5,0	0,001	88,2	93,9	99,6	105,3
	0,0001	93,9	99,6	105,3	111,0
	0,00001	99,6	105,3	111,0	116,7
	0,000001	105,3	111,0	116,7	122,4
5,5	0,001	82,5	88,2	93,9	99,6
	0,0001	88,2	93,9	99,6	105,3
	0,00001	93,9	99,6	105,3	111,0
	0,000001	99,6	105,3	111,0	116,7

Дополнительно был проведен расчет значений окислительно-восстановительного потенциала для реальных условий подземного выщелачивания урана для реакции (6) системы U–FeS_2–H_2S–H_2O. Расчет проводили по уравнению:

$$E = E_0 + 0.0295 \cdot lg\frac{[H^+]^2}{[H_2S]} = 0.171 + 0.0295 \cdot (-2pH - lg[H_2S]) \quad (8)$$

Согласно результатам расчетов, представленным в таблице 5, при pH < 4 в растворах, содержащих 10^{-6}÷10^{-3} моль/л H_2S и 10^{-6}÷10^{-3} моль/л U(VI), возможно восстановление окисленных форм урана сероводородом.

Таблица 5. Значения Eh (В) для реакции (6) для реального солевого состава выщелачивающих растворов при СПВ урана

pH раствора	Равновесная концентрация H_2S, моль/л			
	0,001	0,0001	0,00001	0,000001
1,0	0,201	0,230	0,260	0,289
2,0	0,142	0,171	0,201	0,230
3,0	0,083	0,112	0,142	0,171
4,0	0,024	0,053	0,083	0,112

Таким образом, при скважинном подземном выщелачивании возможно протекание процессов восстановления шестивалентного урана с участием сульфидных минералов и сероводорода, образующегося в результате их растворения в кислых растворах. Поэтому необходимо разрабатывать реагентную схему подготовки выщелачивающих растворов с использованием искусственных окислителей с учетом особенностей минералогического состава месторождения. При сернокислотном выщелачивании урана необходимо использовать искусственные окислители как на стадии закисления, так и в ходе активного выщелачивания. Это увеличит производительность горнодобывающего участка и снизит удельный расход кислоты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-00552 мол_а.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***R. Venter and M. Boylett***, «The evaluation of various oxidants used in the acid leaching of uranium», in Hydrometallurgy Conference 2009, SAIMM Hydrometallurgy Conference, Proceedings of Conference, Johannesburg, 2009, pp. 445-455.
2. ***C. Gupta and H. Singh***, Uranium Resource Processing: Secondary Resources. Berlin: Springer-Verlag. 2003. p. 522.
3. N. Eglizaud, F. Miserque, E. Simoni, M. Schlegel and M. Descostes, Radiochim. Acta 94, 651–656 (2006).
4. ***Pastukhov A.M., Rychkov V.N. and Skripchenko S.Yu.***, J. Radioanal. Nucl. Chem. 303, 2053–2057 (2015).
5. ***R. Guillaumont, T. Fanghanel, V. Neck, J. Fuger, D.A. Palmer, I. Grenthe and M.H. Rand***, Chemical Thermodynamics Vol. 5: Update on the Chemical Thermodynamics of Uranium, Neptumium, Plutonium, Americium and Technetium. Amsterdam: Elsevier. 2003. p. 919.

СПОСОБЫ ЗАКИСЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «МЫНКУДУК» УЧАСТОК «ВОСТОЧНЫЙ» И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Колосов И.Л.
ТОО «Казатомпром-SaUran», филиал «Степное-РУ», Казахстан

ЗАКИСЛЕНИЕ ЗАПАСОВ УРАНА

Закисление технологического блока (закисление руд и рудовмещающих пород) -процесс, необходимый для создания в рудовмещающем горизонте геохимической и гидродинамической обстановки (создание избыточной кислотности), обеспечивающий процесс перевода урана в раствор.

Окончанием закисления блока принимается такое состояние закисляемого объема руд и рудовмещающих пород, когда в ПР устанавливается pH = 1,5-2,0, а в большинстве (более 70%) откачных скважин содержание урана (среднее по блоку) не ниже минимального промышленного ($C_{min} \geq$ 10-15 мг/дм^3). Осуществляется подключение блока к добыче.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. При активном режиме закисления запасов (п. 6.1.1.1), указанное состояние блока на окончание закисления (pH = 1,5-2,0, C_{min} > 10-15 мг/дм^3) определяется прямым наблюдением по откачным скважинам.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. При пассивном режиме закисления запасов (п. 6.1.1.2), указанное состояние блока на окончание закисления (pH = 1,5-2.0, C_{min} > 10-15 мг/дм^3) принимается условно, после подачи в недра блока необходимого объема ВР и нормативного количества кислоты.

В зависимости от геологических, гидрогеологических, геотехнологических условий залегания рудных тел, на месторождении применяется два основных режима закисления запасов: активный и пассивный. В некоторых случаях - их комбинация.

Опытом предыдущих лет (на отрабатываемом участке месторождения Мынкудук), установлена большая эффективность пассивного режима закисления запасов, которая выражается:
— снижением кольматационных эффектов на технологических скважинах и в пласте;
— более полным и равномерным закислением горнорудной массы блока;
— уменьшением каналирования;
и как следствие, улучшением последующего этапа выщелачивания.

АКТИВНЫЙ РЕЖИМ ЗАКИСЛЕНИЯ

Режим закисления, при котором подача кислых растворов в недра блока и откачка пластовых вод из недр осуществляются одновременно, через различные группы скважин. Циркуляция растворов ведется по замкнутому циклу.

Исходя из конструктивных особенностей сооружаемых скважин, на месторождении применяется прямой способ подачи кислых растворов: через закачные скважины одновременно с непрерывной откачкой пластовых вод через откачные скважины.

Активный режим закисления применяется для закисления запасов рудных тел, локализованных в любой части продуктивного горизонта (нижней, средней, верхней), - как при локализации рудных тел непосредственно на водоупоре (региональном или локальном), так и при его значительного удалении или отсутствии.

Наибольшее применение активного режима закиеления запасов технологических блоков необходимо планировать па рудных телах, нижняя граница которых приподнимается над водоупором (на 4 и более метров), а вмещающие подрудные проницаемые отложения имеют больший коэффициент фильтрации, чем рудные.

ПРИМЕЧАНИЕ. В каждом случае, при планировании активного режима закисления запасов, необходим анализ влияющих факторов: наличие водоупоров, литологический состав пород, сеть сооруженных скважин, гравитационное опускание выщелачивающих (закисляющих) растворов и других.

ПАССИВНЫЙ РЕЖИМ ЗАКИСЛЕНИЯ

Режим закисления, при котором подача кислых растворов в недра блока осуществляется без откачки пластовых вод, за счет вытеснения последних.

Пассивный режим закисления применяется для закисления запасов рудных тел, локализованных в любой части продуктивного горизонта (нижней, средней, верхней).

Наибольшее применение пассивного режима закисления запасов технологических блоков необходимо планировать на рудных телах, локализованных на водоупоре (региональном или локальном), или, если нижняя граница рудных тел незначительно приподнимается над водоупором (до 4 метров).

Меньшее применение пассивного режима следует планировать при значительном удалении (на 4 и более метров) рудных тел от нижележащих водоупоров, при этом коэффициенты фильтрации подстилающих проницаемых пород, как правило, меньше /или равны/ коэффициентам фильтрации породам рудных тел.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. В каждом случае, при планировании пассивного режима закисления запасов, необходим анализ влияющих факторов: наличие водоупоров, литологический состав пород, сеть сооруженных скважин, гравитационное опускание выщелачивающих (закисляющих) растворов и других.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Необходимым условием пассивного режима закисления запасов является наличие избыточного объема ВР за счет снижения подачи ВР на блоки с высоким процентом извлечения урана.

По способу подачи кислых растворов пассивный режим подразделяется: на опережающий и площадной (объемный) способы.

ОПЕРЕЖАЮЩИЙ СПОСОБ

Подача кислых растворов в недра блока ведется с временным опережением в откачные скважины блока. Осуществляется в три этапа:

— на начальном (первом) этапе подача кислых растворов в недра блока ведется через откачные скважины до вытеснения и замены пластовых вод на ВР на 60-70% порового объема блока, на основе математического расчета и контроля по наблюдательным скважинам;
— на втором этапе, после остановки подачи кислых растворов в откачные скважины, выполняется подача маточников сорбции в те же откачные скважины, в течение 5-7 суток, с целью отжатия фронта растворов с высокой кислотностью от прифильтровых зон этих скважин;
— на заключительном (третьем) этапе подача кислых растворов осуществляется через закачные скважины, из расчета вытеснения остаточных пластовых вод из /от/ закисляемого объема блока.

ОБЪЕМНЫЙ (ПЛОЩАДНОЙ) СПОСОБ (ИЛИ НУЛЬСАЦИОННО-СТАТИЧЕСКИЙ)

Подача кислых растворов в недра блока ведется одновременно во все технологические скважины блока: откачные, закачные. Осуществляется в два этапа:
— на начальном (первом) этапе подача кислых растворов в недра блока ведется через все технологические скважины, до вытеснения и замены пластовых вод порового объема блока на ВР, на основе математического расчета и контроля по наблюдательным скважинам;
— на втором этапе, после остановки подачи кислых растворов в технологические скважины, выполняется подача маточников сорбции в откачные скважины, в течение 5-7 суток, с целью отжатия фронта растворов с высокой кислотностью от прифильтровых зон этих скважин.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Кроме опережающего и объемного способов подачи кислых растворов в блок, существуют и другие способы, применение которых в наших условиях не практикуется, или практикуется крайне редко: пульсирующая подача, подача растворов по частям блока. - которые являются разновидностями и опережающего, и объемного способов.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Пульсирующий способ подачи растворов: применяется на однорядных схемах вскрытия; закисление блока осуществляется через скважины, работающие в режиме «откачка-закачка».

— Комбинированный режим закисления - режим закисления, при котором подача кислых растворов в недра блока осуществляется комбинацией активного и пассивного режимов закисления.

Применяется в случаях сокращения время (сроков) закисления, или с целью уменьшения растекания кислых растворов за контуры блока, при незначительном (забалансовом) оруденении закачных скважин, сооруженных по внешнему контуру технологического блока.

Подача кислых растворов в недра блока ведется с временным опережением в откачные скважины блока. Осуществляется в три этапа:
— на начальном (первом) этапе подача кислых растворов в недра блока ведется через откачные скважины до вытеснения и замены пластовых вод на ВР на 60-70% поро-

вого объема блока, на основе математического расчета и контроля по наблюдательным скважинам;
— на втором этапе, после остановки подачи кислых растворов в откачные скважины, выполняется подача маточников сорбции в те же откачные скважины, в течение 5-7 суток, с целью отжатия фронта растворов с высокой кислотностью от прифильтровых зон этих скважин;
— на заключительном (третьем) этане, подача кислых растворов в недра осуществляется через закачные скважины, одновременно с непрерывной откачкой ПР через откачные скважины, и направлением полученных ПР на переработку. Объем закачиваемых кислых растворов (и кислоты) на заключительной стадии определяется из расчета замены остаточных пластовых вод (от закисляемого объема блока) на ВР. То есть, на этом этапе совмещаются одновременно и стадия закисления, и стадия добычи урана.

НОРМАТИВ РАСХОДА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Норматив расхода серной кислоты на закисление — минимально необходимое количество (объем) серной кислоты, подаваемое в недра, для создания избыточной кислотности (pH < 2), обеспечивающей процесс перевода урана в раствор, и соответствующий окончанию стадии закисления блока. Определяется опытным путём.

Норматив закисления запасов по месторождению (участке «Восточный») варьирует в пределах 3,0-5,0 кг/т ГРМ и зависит от кислотоемкости вмещающих пород.

Усредненный норматив закисления запасов по месторождению (участок «Восточный») составляет 3,38 кг/т ГРМ.

Рассматривается и согласуется в процессе составления планов развития горных работ.

Кислотность ВР

Кислотность ВР - это концентрация (количество) серной кислоты (100%) в объеме ВР. Измеряется: г/дм^3 , кг/м^3.

Устанавливаемая кислотность ВР зависит от принятого режима закисления запасов.

АКТИВНЫЙ РЕЖИМ ЗАКИСЛЕНИЯ ЗАПАСОВ

Для снижения кольматационных эффектов, активный режим закисления запасов выполняется в две стадии:
— начальная стадия – замена первого (одного) норового объема пластовых вод блока на ВР с кислотностью 10 г/дм^3;
— заключительная стадия - замена второго (последующего) норового объема пластовых вод блока на ВР с кислотностью 15 г/дм.

Отношение Ж/Т (планируемый расход рабочих растворов) при активном режиме закисления запасов соответствует значению 0,27 (при средней кислотности выщелачивающих растворов 10-15 г/дм^3).

ПРИМЕЧАНИЕ. Начальная и, соответственно, заключительная стадии закисления запасов могут предусматривать иные объемы ВР и кислотности, но при этом должен сохраняться норматив расхода кислоты на закисление 1 т ГРМ.

ПАССИВНЫЙ РЕЖИМ ЗАКИСЛЕНИЯ ЗАПАСОВ

Выполняется планируемыми способами закисления запасов с кислотностью выщелачивающих растворов 25 г/дм (как в откачные, так и закачные скважины).

Отношение Ж/Т (планируемый расход рабочих растворов) при пассивном режиме закисления запасов соответствует значению 0,135 (при средней кислотности выщелачивающих растворов 25 г/дм^3).

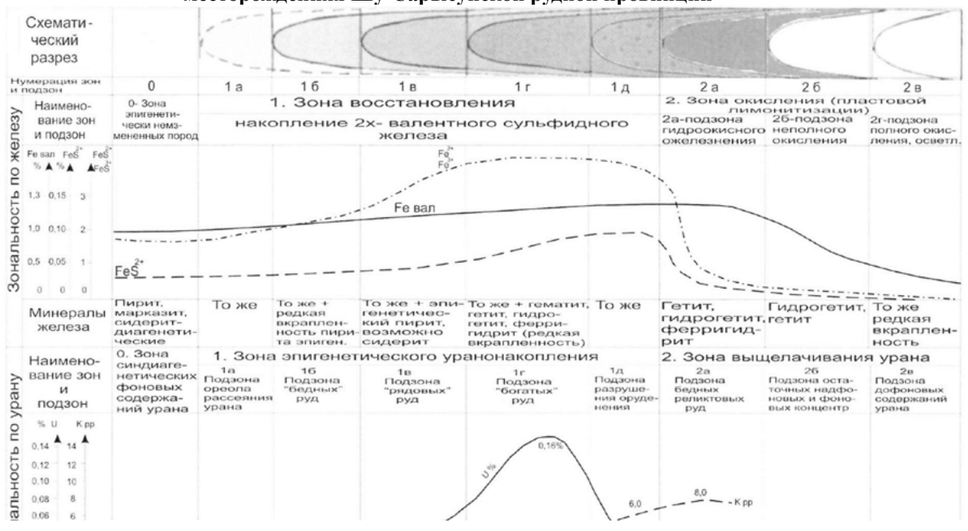
КОМБИНИРОВАННЫЙ РЕЖИМ ЗАКИСЛЕНИЯ ЗАПАСОВ

Подача выщелачивающих растворов на этапе пассивного и, последующего, активного этапа закисления запасов, ведется с концентрацией кислоты в выщелачивающих растворах 25 г/дм^3.

Отношение Ж/Т (планируемый расход рабочих растворов) при комбинированном режиме закисления запасов соответствует значению 0.135 (при средней кислотности выщелачивающих растворов 25 г/дм^3).

ПРИМЕЧАНИЕ. Как пассивный, так и комбинированный режимы закисления запасов могут предусматривать и иные концентрации серной кислоты в ВР, и иные соотношения Ж/Т.

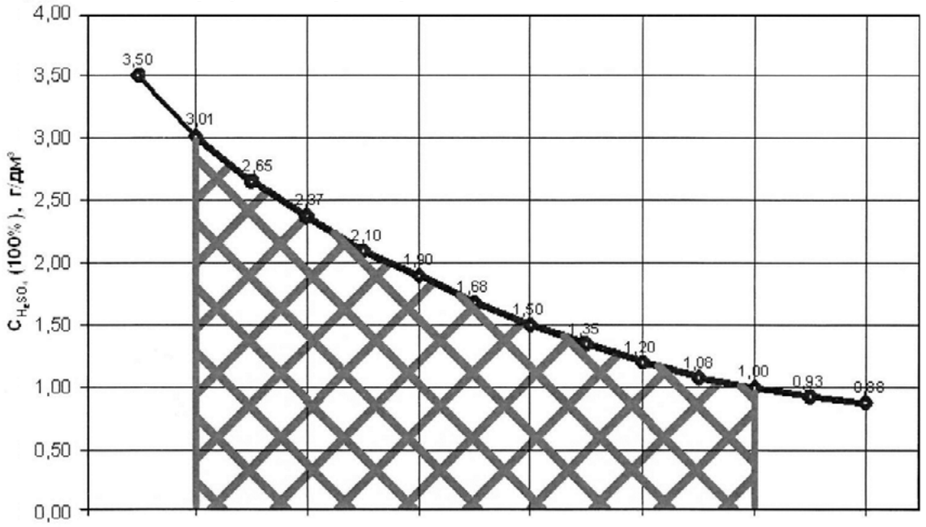
Приложение 1. Рудоконтролирующая эпигенетическая зональность на урановых месторождениях Шу-Сарысуйской рудной провинции



Приложение 2. Месторождение Мынкундук, участок «Восточный».
Средний химический (исходный) состав подземных вод
и продуктивных рстворов мынкудукского горизонта, г/дм³

Химический элемент или соединение (ион)	Исходные подземные воды	Продуктивный раствор
U^{6+}	0,000007-0,001	0,063
Fe^{2+}	< 0,0001	0,83
Fe^{3+}	< 0,0005	0,16
P^{5+}	< 0,0006	0,01
Al^{3+}	< 0,00004	0,36
Ca^{2+}	0,32	0,47
Mg^{2+}	0,119	0,19
Si^{4+}	0,004	0,06
$K^{+}+Na^{+}$	1.57	6.974
SO_4^{2-}	1,318	10,02
Cl^{-}	2,082	2,07
NO_3^{-}	< 0,0002	0,12
HCO_3^{-}	0.153	-
Сухой остаток	5,8	20,42
pH	7,9	2,15
Eh (ОВП)	(-250 до -50) мВ	401 мВ

Приложение 3. Месторождение Мынкундук, участок «Восточный».
Зависимость pH от концентрации серной кислоты
в продуктивных растворах



Приложение 4. Схема локализации ЗАДР
при двухярусном вскрытии оруднения

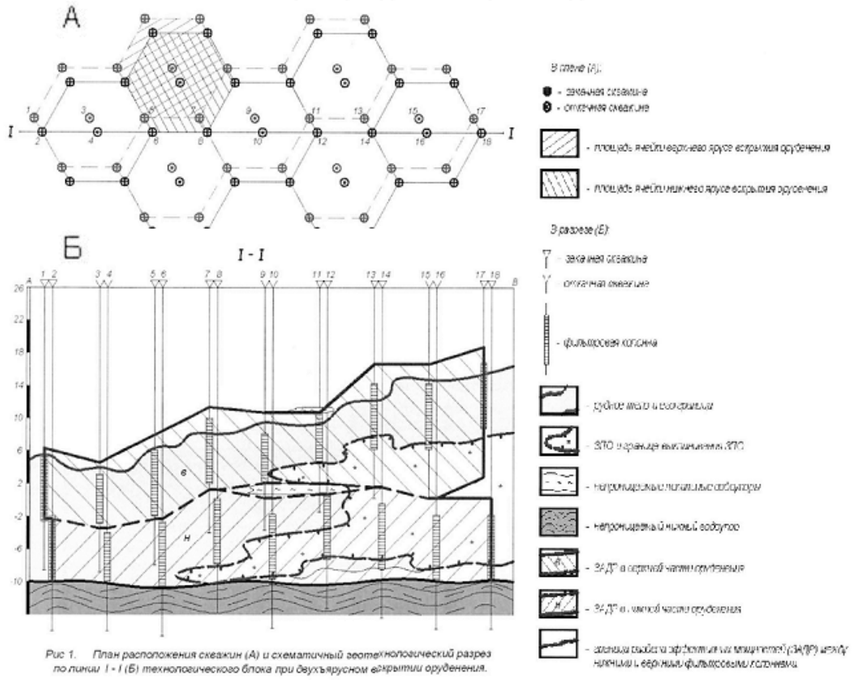


Рис 1. План расположения скважин (А) и схематичный геотехнологический разрез по линии I - I (Б) технологического блока при двухъярусном вскрытии оруденения.

Приложение 5. Схема распределения унифицированных объемов
закисления ГРМ при ячеистой системе вкрытия запасов

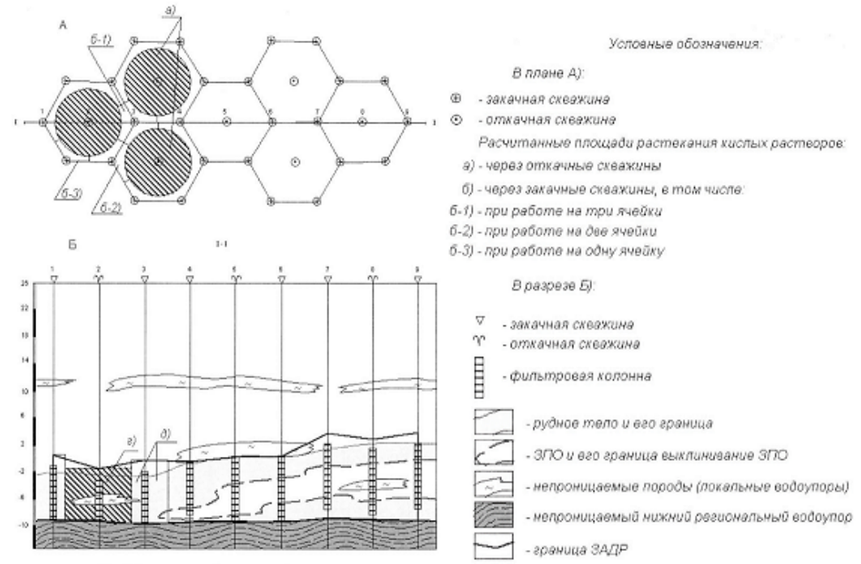


Рис 2. Схема распределения унифицированных объемов закисления ГРМ технологического блока в плане (А) и разрезе (Б) по линии I-I при пассивном режиме закисления опережающим методом через откачные скважины. Система и схема вскрытия блока - ячеистая эксцентральная.

Приложение 5. Схема распределения унифицированных объемов закисления ГРМ при линейной системе вкрытия запасов

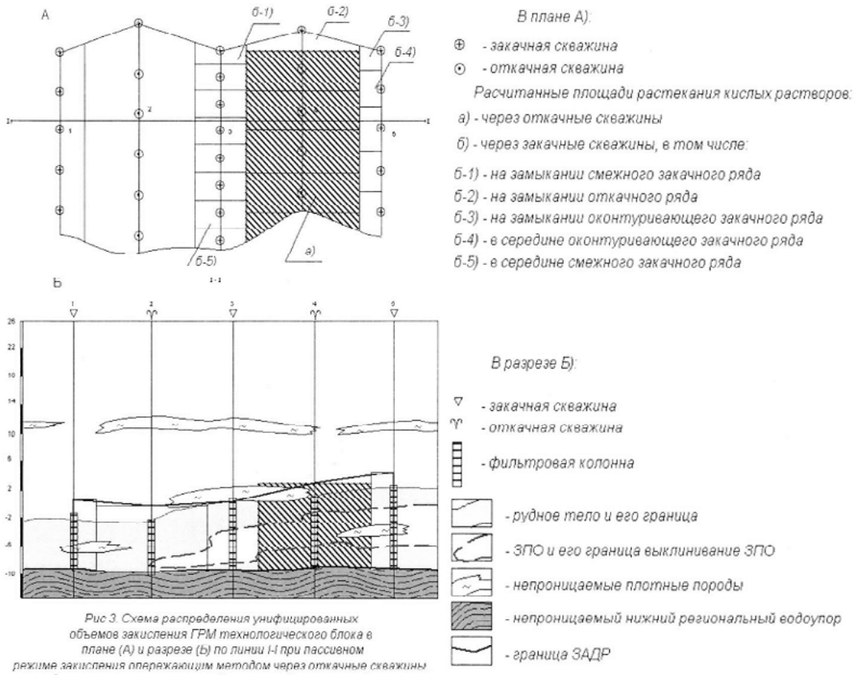


Рис 3. Схема распределения унифицированных объемов закисления ГРМ технологического блока в плане (А) и разрезе (b) по линии I-I при пассивном режиме закисления опережающим методом через откачные скважины Система и схема вскрытия блока - линейная пятирядная.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Веселова Л.Н., Садопин В.Г.*** Физико-химические основы и гидродинамика процесса подземного выщелачивания. Учебно-методическое пособие под ред. Б.В. Невского, ЦПИИатоминформ, М., 1981.
2. Временная методика расчета эффективной мощности при подсчете горнорудной массы на месторождениях, отрабатываемых способом ПВ. У гв. главным инженером КГРК от 24.01.1990.
3. Временная технологическая инструкция по отработке месторождения Мынкудук способом подземного выщелачивания. Фрунзе, 1985.
4. ***Вятченникова Л.С.***, ТОО «2-Кеу» и др. Влияние вещественного состава руд и вмещающих пород месторождений пластово-инфильтрационного типа на добычу при ПСВ урана. Материалы к конференции. Алматы, 2006.
5. Геотехнология металлов Под ред. В.Г. Язикова. Алматы, 2005 г.
6. ***Грабовников В.А.*** Геотехнологические исследования при разведке металлов. М., «Недра», 1995.
7. Добыча урана методом подземного выщелачивания. Под ред. В.А. Мамилова. М., Атомиздат, 1980.
8. Инструкция (методические рекомендации) по подземному скважинному выщелачиванию урана. Алматы, 2006.
9. Инструкция «Расчет и учет добытых продуктивных растворов и урана» И СТРУ 704-05-16.
10. ***Крайнов С.Р., Швец В.М.*** Гидрогеохимия. М., Недра, 1992.

11. ***Лунев Л.И.*** Условия применения и физико-химические основы подземного выщелачивания урана. Учебное пособие. МГРИ. 1982.
12. Отчет о детальной разведке Мынкудукского уранового месторождения в Чимкентской области Каз. ССР за период работ 1973-1980 г.г. с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.1981 г.
13. Отчет по теме «Разработка и НТО технологии отработки фильтрационно неоднородных руд м. з. 2271-04 на основе активного управления гидродинамикой и оптимизации области загрязнения недр рабочими растворами» ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ, 1991.
14. Отчет по теме 134-П «Выбор рациональных систем отработки на участках с осложненными геолого-гидрогеологическими условиями месторождения Мынкудук» М., ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ, 1992.
15. Паспорт эксплуатационного блока, отрабатываемого способом подземного скважинного выщелачивания. Утв. вице-президентом ПАК «Казатомпром» Язиковым В.Г.
16. ***Петров Н.Н., Язиков В.Г. и др.*** Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алматы. Галым, 1995.
17. Подземное выщелачивание полиэлементных руд под ред. акад. Н.П. Лаверова. М.; Издательство Академии горных наук, 1998.
18. Рудничная геотехнология. Часть 1. Геолого-геофизическое и гидрогеологическое обеспечение предприятий подземного выщелачивания. Фрунзе, 1982 г.
19. Справочник по геотехнологии урана Под ред. проф. Д.И. Скороварова. М.; Энергоатомиздат, 1997.
20. Технологическая инструкция отработки месторождения Уванас способом подземного выщелачивания. КГРК, 1983.
21. ***Тураев Н.С., Жерин И.И.*** Химия и технология урана под ред. чл.-корр. РАН, А.М. Чекмарева, Издательский дом «Руда и Металлы», М., 2006.

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИПОХЛОРИТА КАЛИЯ

Аликулов Ш.Ш.
НГГИ, Навоий, Узбекистан

В процессе подземного выщелачивания движение растворителя осуществляется по порам и капиллярам рудного пласта или скального монолита под воздействием искусственно создаваемого потока раствора реагента и специальной системы нагнетательных и дренажных устройств. В обводнённых рыхлых осадочных отложениях проникновение растворителя происходит практически по всем поровым каналам, в трещиноватых необводненных породах сначала по основным магистральным трещинам, а затем значительно медленнее по небольшим капиллярным и субкапиллярным трещинам и порам, вследствие чего рудные куски выщелачиваются неравномерно. Основные условия, необходимые для эффективного осуществления процесса подземного выщелачивания, следующие:

— процесс перевода металлов в раствор должен протекать с приемлемой скоростью;
— внутри рудного массива существуют условия для циркуляции растворов, рудоносные породы должны быть проницаемыми для растворов;
— растворитель избирательно растворяет минералы добываемых металлов, не затрагивая вмещающие породы, растворитель и получаемые химические растворы не кольматируют в значительной степени поры и капилляры в выщелачиваемой руде;
— миграционные явление в подстилающие и покрывающие породы должны быть минимальными.

Эксплуатации урановых месторождений, ведется адаптация технологии к конкретному месторождению и в этот период при высоких затратах добыча просто не рентабельна. Предварительное окисление урана на стадии подготовки запасов – реагент позволяющий решить данную задачу, интенсифицировать добычу и добиться ее рентабельности на начальной стадии отработки. В качестве окислителей могут применяться: в сернокислотной среде-хлораты, двуокисы марганца, молекулярной кислород, перекись водорода, трехвалентное железо, в щелочной среде – кислород воздуха, перекись водорода, перманганат калия и др. Подземное выщелачивание полезных компонентов сопряжено с переработкой большого количества руды, и стоимость конечного продукта, поэтому растворитель должен быть дешевым. Кроме того, он должен избирательно извлекать полезный компонент, не затрагивая в значительной степени безрудные породы. Для эффективного ведения процесса подземного выщелачивания металлов наряду с оптимизацией технологического режима выщелачивания урана.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ГИПОХЛОРИТА КАЛИЯ

Гипохлорит калий - неорганическое соединение, соль калия и хлорноватистой кислоты с формулой KClO, жёлто-зеленовато-серая жидкость с сильным запахом хлора, но некоторым это запах кажется фруктовым. При температуре ниже - 2°C затвердевает, превращаясь в кристаллы. Водный раствор носит название «жавелевая вода», Пропускание хлора через охлаждённый раствор гидроокиси калия:

$$Cl_2 + 2\ KOH \rightarrow KClO + KCl + H_2O$$

Чтобы получить чистый гипохлорит калия из раствора, нужно поместить его в бокс с осушителем, желательно оксидом фосфора (V). После этого гипохлорит сливают из сосуда и растворяют в воде. Потом раствор ставят в морозильник и охлаждают. И только потом повторно помещают в бокс с осушителем. Полученные кристаллы нужно держать во фторопласте и при температуре ниже -5°C.

Способ получения гипохлорита калия включает хлорирование раствора гидроксида калия газообразным хлором при температуре не выше +35°C при постоянном перемешивании смесью хлора с воздухом до образования раствора, содержащего не менее 190 г/дм^3 гипохлорита калия с последующим отстоем. Образовавшийся после отстоя и декантации готового продукта осадок предварительно отфильтровывают.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА МЕСТОРОЖДЕНИЙ «ИРКОЛЬ»

[1]Баймолдинов А.Б., [1]Кенжетаев Ж.С., [1]Оралбеков А.Т., [1]Матаев М.М., [1]Копбаева М.П., [2]Мырзабек К.А., [2]Алтынбек А.Д., [2]Салкынбаев М.Б.
[1]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан,
[2]ТОО «Семизбай», Астана, Казахстан

Современные этапы развития сырьевых отраслей характеризуются востребованностью прогрессивных технологий и технических решений, позволяющие интенсифицировать технологические процессы, уменьшить капитальные и эксплуатационные расходы, в условиях постоянного снижения содержания целевого компонента — урана и увеличением технологического забаланса в продуктивных горизонтах [1].

Протекающие окислительно-восстановительные реакции в пласте в значительной мере определяют эффективность технологии ПСВ урана, полноту извлечения металлов в раствор, удельные расходы химических реагентов, энергозатрат и в целом технико-экономические и экологические показатели производства [2]. В сложных горно-геологических условиях увеличение удельных расходов серной кислоты обусловлено преодолением геохимического барьера растворением осадков в растворе серной кислоты, что значительно увеличивает себестоимость конечной продукции.

Для изучения природы рудовмещающих пород месторождений «Ирколь» были проведены лабораторные исследования на керновом материале выщелачивания в трубках динамическом режиме комплексом химических реагентов многофункционального назначения интенсифицирующего ПСВ урана в сложных горно-геологических условиях. Целью исследований является проведение лабораторных опытов по агитационному выщелачиванию и получение выходных данных геотехнологических параметров для подземного выщелачивания: установление зависимости концентраций урана в выходных технологических растворах и степени его извлечения из руды; влияние различных химических реагентов синергетического действия на извлекаемость урана.

Эффективность комплекса химических реагентов определяется его составом и подбирается в зависимости от геологических особенностей продуктивного горизонта и количественно-качественных характеристик образовавшихся осадков. Химические реагенты в комплексе: обладают растворяющей способностью основных карбонатных и побочных осадкообразований. Активно разглинизирует и создает дополнительные линий тока в поровом пространстве пласта, а также обладают высокой окисляющей способностью Fe^{2+} до Fe^{3+}. Интенсификация ПСВ урана с применением комплекса химических реагентов позволит повысить скорость отработки технологических блоков и снизить себестоимость конечной продукции.

В ходе проведения лабораторно – экспериментальных работ на образце кернового материала руд месторождения «Ирколь» для интенсификации процесса и максимального извлечения урана в качестве малореагентного способа ПСВ были подобраны пенно-аэрированные реагенты синергетического действия:

- сульфаминовая кислота – (моноамид серной кислоты, амидосерная кислота) NH_2SO_2OH, мол. м. 97,098; кристаллический продукт от белого до светло-серого цвета, при хранении слеживается. Плавится при температуре 200-205°С с разложением. Хорошо растворяется в воде, растворимость в воде значительно уменьшается в присутствии серной кислоты 70%. При температуре 260°С полностью разлагается на азот, воду и сернистый ангидрид, не токсична;
- лигносульфанаты – анионные ПАВ. В воде обычно находятся в коллойдном состоянии (степень гидратации 30-35%). Они незначительно понижают поверхностное натяжение воды, создают стойкие эмульсии и пены. Лигносульфанаты получают в виде смолоподобного продукта при гидролизе древесины на целлюлозно-бумажных комбинатах. Применяют лигносульфанаты для понижения вязкости глинистых растворов [3,4].

Дальнейшие исследования по подбору химических реагентов многофункционального назначения производились на различных усреднённых пробах кернового материала. В опыте, при добавлении в выщелачивающий раствор серной кислоты с концентрацией 10 г/дм^3 в качестве интесификатора 10 % сульфаминовой кислоты (САК), Eh выщелачивающего раствора заметно увеличивается до 506 mV, pH значительно уменьшается до 0,26.

Повышение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) обуславливается тем, что химический реагент сульфаминовая кислота активно реагирует с металлами, их оксидами, гидроксидами и карбонатами. На уравнениях реакций приведенных ниже, можно рассмотреть, как САК взаимодействует с железом, оксидом и гидроксидом, с образованием сульфаматов железа:

$$2\ NH_2SO_2OH + Fe = (NH_2SO_2O)_2Fe + H_2 \quad (1)$$

$$2\ NH_2SO_2OH + FeO = (NH_2SO_2O)_2Fe + H_2O \quad (2)$$

$$2\ NH_2SO_2OH + Fe(OH)_2 = (NH_2SO_2O)_2Fe + 2\ H_2O \quad (3)$$

По результатам обменных химических реакций САК образует прочный комплекс с ионами Fe^{2+}, снижает их активность в растворе, в результате чего повышается соотношение Fe^{3+}/ Fe^{2+} и повышается значение Eh раствора, что интенсифицирует процесс выщелачивания урана.

Понижение pH связано с тем, что в кристаллическом состоянии сульфаминовая кислота образует цвиттер – ион $NH_3^+SO_3^-$, в молекуле которых присутствует как кислые, так и основные группы, существующие в виде цвиттер – ионов при определенных значениях pH. Этот pH обозначается как изоэлектрическая точка молекулы, при которой молекула сульфаминовой кислоты или ее поверхность не несет электрического заряда, вследствие этого явления сульфаминовая кислота образует растворы с хорошими буферными свойствами. Благодаря способности к выборочной ионизации они противодействуют к изменению pH при добавлении кислоты. В присутствии кислот они принимают на себя протоны, удаляя последние из раствора, и противодействуют повышению кислотности [5].

Этими процессами химического реагента сульфаминовой кислоты в качестве интенсификатора ВР урана обуславливается его основное проявление, что ведет к повышению ОВП и понижению значения pH.

Поверхностно-активные вещества вызывают снижение поверхностного натяжения как на границе газ/раствор (что способствует растворению кислорода), так и на границе руда/раствор (что улучшает смачивание уранасодержащего минерала). Кроме интенсификации процесса ПСВ, добавки ПАВ могут оказывать и другое положительное действие. В зависимости от концентрации, они могут как стабилизаторами коллоидов, так и флокулянтами.

Максимальная концентрация кислоты при закислении связана с риском кольматации пор гидроксидом железа, осаждающегося в результате гидролиза солей Fe^{3+}. Добавление в закисляющий раствор ПАВ, стабилизирующих гидроксид железа, позволит избежать его пере осаждения, и повысит концентрацию серной кислоты при закислении и тем самым сократит длительность процесса закисления.

Интенсифицирующее влияние лигносульфанат (ЛСТ) [6,7] на процесс ПСВ урана связано в основном с его способностью быстро адсорбировать атмосферный кислород, что связано с высоким содержанием в ЛСТ фенольных групп. Присутствие ионов Fe^{3+} повышает активность ЛСТ как интенсификатор процесса ПСВ урана. Однако поверхностно-активные свойства ЛСТ невысоки, в отличии от ЛСТ щелочных и щелочно-земельных металлов, комплексы ЛСТ с Fe^{3+} практически не обладают поверхностно-активными свойствами. Интенсификация ПСВ в присутствии катионов Fe^{3+} и ЛСТ не связана с поверхностно-активными свойствами ЛСТ.

При правильном подборе ПАВ их применение может дать комплексный эффект – сокращение периода закисления, интенсификацию процесса ПСВ, предотвращение кольматации пласта, сокращение длительности РВР.

Для подтверждения этих выводов проведены дополнительные исследования по определению эффективности химических реагентов в ПСВ урана на агитационных трубках. Одним из факторов проведения эксперимента было еще раз убедиться в эффективности САК в концентрации 10% и проверке ЛСТ как интенсификатора в ПВ урана в сочетании с хлоридом железа $FeCl_3$.

В таблице 1 приведена концентрация выщелачивающих растворов и химических реагентов.

Таблица 1. Концентрации выщелачивающих растворов и химических реагентов

№ опыта	Выщелачивающий раствор H_2SO_4 10 г/дм^3, концентрация химических реагентов
1	10% раствор САК (сульфаминовая кислота)
2	10% раствор ЛСТ+ $FeCl_3$ (лигносульфанат)
3	5% САК и 5% ЛСТ+ 1% $FeCl_3$(хлорид железа)
4	H_2SO_4 10 г/дм^3

Полученные результаты после проведения выщелачивания отражены в таблице 2.

По результатам выщелачивания урана в трубках следует заключить следующее: поверхностно-активный интенсификатор лигносульфанат (ЛСТ) не дал ожидаемых результатов в сочетании с хлоридом железа ($FeCl_3$), что говорит о необходимости дальнейших исследовании в подборе концентрации данного химического реагента, опыты с применением САК в концентрации 10% подтвердил активность при выщелачивании. Данные в сочетании трех реагентов в опыте 4 показали положительные результаты по всем трем параметрам: U мг/дм^3, pH, Eh.

Таблица 2. Результаты агитационного выщелачивания на трубке

№ трубки	Время с начала агитации, час	Концентрация H_2SO_4 в ВР, г/дм^3	Химический реагент и его концентрация	U, мг/дм^3	pH	Eh, mV
1	6	10		45.8	0,98	484
1	24	10		53.0	0,97	479
1	48	10		66.1	0,98	476
1	72	10		88,2	0,98	473
2	6	10	САК 10%	59.6	0,34	512
2	24	10	САК 10%	75.2	0,34	511
2	48	10	САК 10%	82.0	0,34	509
2	72	10	САК10%	91.6	0,34	506
3	6	10	ЛСТ 9%+1%$FeCl_3$	35.4	1,25	221
3	24	10	ЛСТ 9%+1%$FeCl_3$	58.3	1,25	220
3	48	10	ЛСТ 9%+1%$FeCl_3$	64.8	1,25	218
3	72	10	ЛСТ 9%+1%$FeCl_3$	78,4	1,25	210
4	6	10	САК 5%+ЛСТ 4%+1%$FeCl_3$	49.3	0,54	402
4	24	10	САК5%+ЛСТ 4%+1%$FeCl_3$	73.7	0,54	401
4	48	10	САК5%+ЛСТ 4%+1%$FeCl_3$	79.5	0,54	428
4	72	10	САК5%+ЛСТ 4%+1%$FeCl_3$	92.8	0,54	420

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Мамилов В.А.*** Добыча урана методом подземного выщелачивания. Москва: Атомиздат 1980. - 248 с.
2. ***Полиновский К.Д.*** «Комплексный подход к изучению проблем интенсификации процесса ПСВ урана», Горный информационно-аналитический бюллетень, Москва 2012.- №7, 64-73 с.
3. Отчет по НИР «Экспериментальное обоснование эффективности применения на РУ-6 малореагентного варианта сернокислотного ПСВ урана» (договор №281/ГРК - 6 от 28.03.06 г.)
4. Отчет по НИР «Анализ основных физико-химических факторов влияющих на образование кольматантов при ПСВ урана» (договор №57/ДП от 02.09.14 г.)
5. ***Матаев М.М., Баймолдинов А.Б., Копбаева М.П., Телембаев М.М.*** Новые методы интенсификации кислотного выщелачивания урана. Материалы международного научно-практ. конференции Абишевские чтения-2016 «Инновации в комплексном переработки минерального сырья» 21-22 января 2016 г. Алматы, с.138-142.
5. ***Филиппов А.П., Нестеров Ю.В.*** Редокс – процессы и интенсификация выщелачивания металлов. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы». 2009. – 543 с.
6. ***Филиппов А.П., Нестеров Ю.В., Шаталов В.В., Кротков В.В, Мимонов А.В.*** Патент РФ № 2165994 «Способ извлечения урана из рудных материалов».

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ УРАНА ПРИ ПСВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

[1]Разуваева Т.В., [1]Поезжаев И.П., [1]Мырзабек Г.А.,
[1]Копбаева М.П., [2]Мырзабек Қ.Ә., [3]Тунгатарова М.С.
[1]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан,
[2]ТОО «Семизбай-U», Астана, Казахстан,
[3]КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Достижение управляемости процессами ПСВ с очевидным экономическим эффектом является целью действующих добычных предприятий. В то же время отсутствие возможности прямого оперативного контроля, большая инерционность процесса, растянутость его во времени делают управление добычей довольно сложной задачей с тенденцией к постоянному ухудшению по мере отработки месторождения. В жестких ценовых условиях нет иного пути по поддержанию рентабельности предприятия, кроме как увеличения эффективности отработки залежей. Подразумевает это, прежде всего, снижение издержек при подготовке и эксплуатации блоков, что может быть выражено в:

— оптимизации расходов на ГПР (создание оптимальных схем вскрытия, оптимальное положение фильтров в разрезе, адекватный режим закисления, дебиты и приемистости скважин, баланс по растворам и т.д.);
— оптимизации расходов при добыче (оптимальные ремонтно-восстановительные работы, до- и перебуры скважин, регламенты подачи кислоты, баланс по растворам и т.д.).

В связи с этим эффективное моделирование гидродинамики подземного выщелачивания является актуальной задачей, востребованной сегодня многими предприятиями горно-добывающей отрасли во всем мире.

В мире имеется несколько программ, позволяющих визуализировать гидродинамическое состояние блока (FrontSim из пакета Eclipse, Schlumberger, Visual modflow, Modflow Flex, Waterloo Hydrogeologic, Processing Modflow, Simcore software, и др). Все они достаточно дорогие изделия и не являются технологическими пакетами, т.е. не включают специализированные для добывающих предприятий параметры и характеристики. Имеется специализированная российская разработка (пакет Севмур, Северский филиал МИФИ, Томская обл.), которая является базовым программным обеспечением для ПСВ предприятий РФ. Для предприятий АО «НАК «Казатомпром», имеющей свой базовый пакет проектирования и управления работой блоков, привязанный к собственной базе данных, нет оснований использовать этот комплекс программ.

С другой стороны – проблемы оценки оптимальности потоков технологических растворов не могут быть решены без специализированного моделирования.

В настоящей работе предлагается использование симулятора, позволяющего рассчитывать 3-х мерные гидродинамические модели процесса ПСВ, что в свою очередь поможет выявить недостатки в распределении потоков технологических растворов в горнорудной массе, часто являющейся причиной нештатной работы блоков.

Использование симулятора, позволяющего моделировать гидродинамику процесса ПСВ поможет выявить недостатки в распределении потоков технологических растворов в горнорудной массе, часто являющейся причиной нештатной работы блоков.

В действительности, факторов управления процессом ПСВ совсем немного:

— возможности варьирования концентрацией кислоты в ВР;
— возможности варьирования приемистостями закачных и дебитами откачных скважин (ограничено техническими и гидрогеологическими параметрами, к тому же дебит откачных скважин поддерживается обычно на максимуме, что не всегда верно);
— возможности реверса растворов и добуривания дополнительных технологических скважин.

Можно выделить несколько аспектов оптимизации гидродинамических параметров:

- каждая откачная скважина должна работать в балансе со своим закачным окружением. Задача решаема простыми расчетами для гексагональных схем, но не может быть решена без привлечения моделирования для рядных схем;
- интенсивность работы фильтра по длине должна отвечать балансовому оруденению, иными словами, максимум дебита должен приходиться на рудную часть разреза. Это актуально для маломощных рудных прослоев (менее 2 м), в особенности в резко анизотропной по проницаемости среде (переслаивание песков разной зернистости и глин);
- посадка фильтров учитывать возможность гравитационного опускания растворов. В случае невозможности избежать таковое (например, при нештатных остановках блоков), необходимо разработать форс-мажорный регламент по дебитам, чтобы избежать потерь растворов;
- интенсивность проработки ГРМ должна быть такой, чтобы минимизировать образование застойных зон. В большинстве случаев образование застойных зон не несет в себе серьезной угрозы по скорости отработки и выполнению плана для конкретного блока, но для отдельных случаев – богатые рудные тела, попадающие в застойные зоны и невозможность поддержания проектных дебитов блока – образование застойных зон увеличивает время отработки в 1,5 раза и более;
- при двух- и более этажном вскрытии, при отсутствии надежных водоупоров между этажами, велика опасность перетоков растворов и межэтажного каналирования. Это может приводить к недозакисленности ГРМ (может быть принято решение о прекращении подачи кислоты при низких pH, тогда как имеет место переток растворов между этажами) и дальнейшему падению содержания урана в ПР до пороговых для рудника показателей.

Определенные выше случаи неоптимальных потоков технологических растворов должны быть, прежде всего, надежно диагностированы. В ряде случаев это можно сделать путем несложных расчетов фактических объемов закачки в конкретную ячейку и сравнения их с дебитами. Но в большинстве случаев диагностика неоптимальной работы ячеек (блоков) в гидродинамическом аспекте требует проведения модельных построений, которые позволяют визуализировать результат в виде распределения линий тока либо идеального трассера (того, что не реагирует с веществом ГРМ).

На стадиях закисления и отработки возможности управления процессом приобретают особое значение, так как непосредственно влияют на экономические показатели отработки.

При закислении блока критически важными параметрами являются:

— минимизация непроизводительных потерь кислоты за счет законтурного растекания и миграции по вертикали в непродуктивные разности;
— поддержание проектных (плановых) дебитов и приемистостей, регламентной концентрации кислоты в ВР;

— полнота и одновременность достижения проектных показателей для всех ячеек технологического блока;
— отслеживание отклика блока и своевременная реакция на них (с возможным изменением плановых параметров закисления).

В принципе, достижимость названных аспектов закисления заложена в соответствующих регламентах, разрабатываемых на основе лабораторных и натурных опытов, ОПВ и фактических результатов закисления ранее запущенных блоков.

В большинстве случаев, закисление блока не представляет собой сложной задачи в аспекте соблюдения плановых параметров. Расхождения с параметрами, принятыми как плановые (модельные) возможны при неоптимальной гидродинамике при закислении, реже при неучтенных осложнениях при распределении внутриформационных водоупоров, что важно при двухэтажном вскрытии. Может выражаться как в латеральном растекании (потерянной кислоте), так и в вертикальной миграции ВР, в случае висячих руд, либо в явлении каналирования. Имеет своей причиной обычно дебалансы между ПР и ВР по ячейкам (или частям блока).

Неоптимальная гидродинамика выразится, прежде всего, в отсутствии баланса между ПР и ВР в пределах ячейки и блока в целом (в последнем случае необходимы поправки на работу соседних блоков). Особенно опасны в этом случае дебаланс в пользу откачки, при наличии прослоев карбонатных песчаников в пределах активной мощности фильтрации. Часто по таким песчаникам образуются каналы, когда кальцит растворяется, а образованный аморфный гипс выносится потоком ВР в виде частиц алевро-глинистой размерности. Как результат, возрастает эффективная пористость, и – при неизменных дебитах, поток уменьшается в своей ширине и мощности, двигаясь по объему с наименьшим сопротивлением. Частицы гипса, а также алеврита и глины переоткладываются в местах падения скорости фильтрации, выше и ниже линии максимальной скорости, кольматируя границы канала, по которому будут мигрировать растворы. Тем самым создается канал, обычно мощностью сопоставимый или несколько меньший, чем длина фильтра, с границами, закольматированными не только алевро-глинистой нерастворимой составляющей, но и гелями железа и алюминия. Переориентировать поток из этого канала невозможно обычными методами; только реверсирование потоков или сооружение дополнительных скважин может исправить ситуацию.

Подобное каналирование также образуется при резком изменении конфигурации сети вскрытия. Расстояния между откачными и закачными скважинами обычно выдерживаются в пределах единого блока достаточно жестко, вариации составляют ±10% от среднего и опасности каналирования не несут. Однако, при двухэтажном вскрытии встречаются ситуации, когда ячейки верхнего и нижнего этажей смещены друг относительно друга на расстояние, большее, чем 1-2% от глубины скважины. При наличии устойчивых водоупоров это не опасно, но в случае гидравлических окон между нижним и верхним этажами вскрытия, потоки разных этажей могут смешиваться, при этом закачные одного этажа начинают работать на откачные другого. Такая ситуация – особенно при большом сдвиге ячеек друг относительно друга - чревата неравномерностью закисления и каналированием.

Иная ситуация создается при недостатке объемов ПР. В случае расположения фильтров на надежном нижнем водоупоре, возможна только непроизводительная потеря кислоты.

В случае подвешенных руд, с расстоянием от низа фильтра до водоупора, равном длине фильтра или более, велика вероятность миграции ВР вниз по разрезу и концентрацией на нижнем водоупоре под влиянием разницы в удельных весах пластовой воды и ВР [1]. Нельзя забывать, что гидродинамические условия процесса определяют скорость фильтрации потока раствора и как результат интенсивность проработки участков пласта реагентным раствором, т.е. динамику химического взаимодействия раствора реагента с веществами в твердой фазе. В то же самое время эти химические процессы влияют на характеристики пласта и меняются гидродинамические условия ПВ.

При разработке урановых месторождений исходными данными по каждому блоку месторождения являются данные по скважинам (координаты, глубина и наименование) блока, а также литологические данные породы и содержание минерала на скважинах. Все эти данные представлены данными на скважинах и носят пространственно-разрывной характер.

Для построения геологической модели месторождений необходимо обработать большое количество неравномерно распределенных в пространстве данных с применением методов интерполяции для определения основных характеристик разрабатываемого блока. Существует множество различных методик интерполяции данных: линейная интерполяция, интерполяция методом соседних точек, интерполяция методом обратных взвешенных расстояний и метод кригинга с различными вариациями его реализации. Наиболее распространенными методами интерполяции, применяемыми для задач геотехнологии, являются метод обратных взвешенных расстояний (ОВР), метод поверхности тренда и различные вариации кригинга [2].

Данные трехмерной геологической модели, полученные на основе геостатистических расчетов, являются исходными для расчета давления в пласте, линий тока выщелачивающего раствора и других гидродинамических параметров.

Используемый симулятор по расчету 3-х мерной гидродинамической модели процесса добычи полезного компонента методом ПСВ, содержит:

- модуль импорта входных расчетных данных и создания расчетной сетки, предоставляющий:
  — импорт скважинных данных (координаты, тип скважины, расположение фильтров, наименование скважины) с текстового файла или Excel книги;
  — импорт фильтрационных и минералогических свойств породы (литологический тип, коэффициент фильтрации и концентрация урана) с текстового файла или Excel книги;
  — импорт данных о дебитах в зависимости от типа скважины с текстового файла или Excel книги;
  — возможность создания структурированной, регулярной трехмерной расчетной сетки по заданным координатам;
- расчетный модуль, позволяющий, на узлах расчетной сетки по скважинным данным, проводить 3-х мерную интерполяцию основных фильтрационных и минералогических свойств рудовмещающих пород, таких как литологический тип породы, коэффициент фильтрации и содержание урана;
- программный модуль по моделированию гидродинамики процесса добычи полезного компонента методом ПСВ, в котором реализованы следующие возможности:
  — расчет распределения давления в пласте, исходя из данных коэффициента фильтрации и дебитов;

— выбор граничных условий между условиями Неймана и Дирихле в зависимости от геологических и гидрогеологических особенностей выбранного для моделирования участка работ;
— выбор метода расчета давления (явный, неявный).

При этом, интервал установки фильтров технологических скважин прописывается вручную или путем импорта данных. Результаты проведенной интерполяции визуализируются графическим редактором в 3-х мерном виде, в плане X-У по выбранной Z координате и в разрезе X-Z или Y-Z по выбранным Y или X координатам соответственно.

Первичными данными для проведения интерполяции основных фильтрационных характеристик являются геофизические исследования, проведенные в разведочных и технологических скважинах, а также геологическая и гидрогеологическая информации выбранного участка работ. Результатом проведения гидродинамического моделирования является: поле распределение гидродинамического напора в пределах выбранного геометрического контура и поле распределение действительной скорости фильтрации (линии тока):

- Модуль по визуализации исходных данных и полученных результатов в виде разрезов (по x, y и z осям), блоков, кривых линий растекания выщелачивающего раствора, и т.д. Предусмотрена возможность конфигурирования цветов и порогов легенды, фона отображения, захвата снимка для сохранения JPEG рисунков, импорт произвольных контуров с текстовых файлов.
- Модуль экспорта данных для хранения полученных результатов с возможностью экспорта результатов моделирования в распространенных форматах, совместимых с другими визуализаторами (например TecPlot 360®).

Таким образом, используемый симулятор содержит 3-х мерный интерполяционный модуль основных фильтрационных характеристик рудовмещающих пород в пределах выбранного геометрического контура по точечным в плане данным и модуль расчета гидродинамики, в котором на основе разработанной 3D геологической модели производится расчет давления, линий тока в пласте под действием сети скважин.

Общая математическая модель состоит из трех этапов: вычисление геологии, вычисление давления в пласте, вычисление линий тока раствора.

Проведены работы по получению моделей потоков технологических растворов с использованием программного модуля в условиях реального производства на территории рудника «Центральный Мынкудук» ТОО «ДП «ОРТАЛЫК».

В результате моделирования получены модели потоков технологических растворов для выбранного блока. Работа с блоком производилась посредством подключения к ИС «Рудник» и использованием данных, выгруженных из базы данных «Atomgeo».

Было показано, что для выбранного блока, по скважинным данным, использование симулятора позволяет определить фильтрационные свойства, геометрическое распределение руды и литологические свойства породы в межскважинном пространстве, путем вычисления следующих характеристик: коэффициент фильтрации, литологический тип породы, содержание урана. Также был произведен расчет распределения давления и линий тока раствора в пласте по заданным на скважинах дебитам и рассчитанным данным по коэффициенту фильтрации. Результаты были отображены встроенным в симуляторе

визуализатором. Это позволило определить растекание раствора в пласте, что потенциально позволяет выявить зоны закисления, наряду с застойными зонами [3].

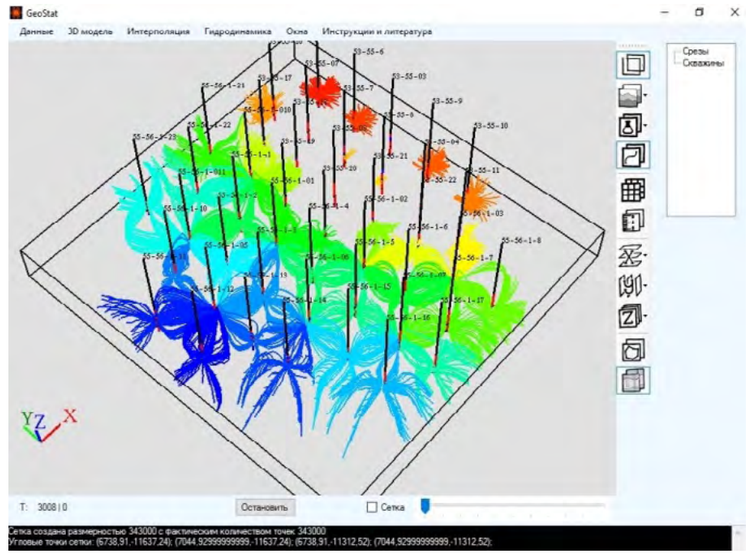


Рисунок 1. Линии токов от закачных скважин к откачным

Была выделена интересующая ячейка с так называемыми «висячими рудами», для которой были продемонстрированы линии токов выщелачивающего раствора на фоне срезов по литологии, коэффициентам фильтрации, распределения урана.

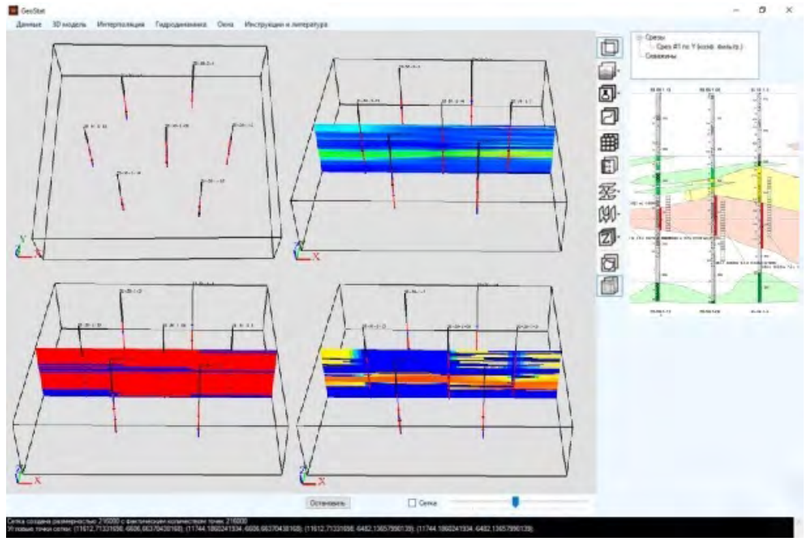


Рисунок 2. Геостатистическая интерполяция для выделенной ячейки (слева направо и вниз: схема ячейки, коэффициент фильтрации, водоупоры, распределение урана и схема оруднения по данным ТОО «ДП «ОРТАЛЫК»)

В симуляторе для ячейки была изменена высота фильтров и добавлена закачная скважина рядом с откачной, что позволило визуально определить разницу в гидродинамике.

Значимость исследования состоит в оптимизации добычи урана методом ПСВ путем повышения эффективности разработки месторождений, увеличения доли извлекаемого урана и снижения экологической нагрузки на окружающую среду, а именно: подсчет с высокой точностью начальных и текущих объемов урана рассматриваемых участков и выявление богатых зон; оптимальное расположение скважин; мониторинг образования застойных зон и растекания раствора за пределы блока; прогнозирование, контролирование и управление процессом добычи урана регулированием содержания серной кислоты в выщелачивающем растворе, регулированием давления на скважинах и реверсированием потоков в рудном горизонте.

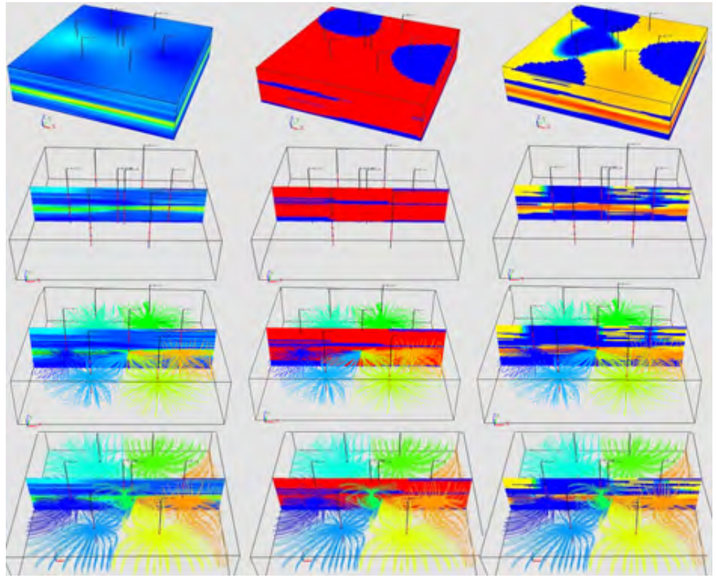


Рисунок 3. Результаты, полученные до и при добавлении дополнительной скважины

Результаты исследования по данному направлению должны улучшить работу проблемных блоков для выполнения контрактных условий предприятий в следующих аспектах:

- уменьшение затрат на добычу/закисление путем исключения непроизводительных потерь кислоты;
- ускорение отработки блока путем оптимизации потоков технологических растворов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Совершенствование управления технологическими параметрами ПВ урана с учетом прогнозных геотехнологических свойств отрабатываемых месторождений. Отчет по проекту № 257/НАК от 11.07.2014 г., научное направление № 3, тема 3.1.А, ТОО «ИВТ», Алматы, 2015.
2. Совершенствование схем вскрытия технологических блоков и полигонов на основе применения моделирования и прогнозирования состояния недр под воздействием подземного выщелачивания. Отчет по проекту №258/НАК-13 от 26.09.2013 г., ТОО «ИВТ», Алматы, 2014.
3. Оптимизация потоков технологических растворов при закислении и отработке блоков. Отчет по проекту № 178/НАК от 18.04.2016 г., ТОО «ИВТ», Алматы, 2017.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПРИ ПСВ УРАНА

[1]Кенжетаев Ж.С., [1]Баймолдинов А.Б., [1]Копбаева М.П., [1]Косунов А.О., [1]Матаев М.М., [1]Оралбеков А.Т., [2]Мырзабек К.А., [3]Штайнбрехер А., [3]Фриш Д.

[1]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан,
[2]ТОО «Семизбай-U», Астана, Казахстан,
[3]TLM hydropuls GmbH, Германия.

Практика эксплуатации систем геотехнологических скважин при эксплуатации месторождений урана способом ПСВ показывает, что с течением времени наблюдается снижение их производительности. Одной из основных причин снижение пропускной способности технологических скважин является увеличение гидравлических сопротивлений и снижение фильтрационных характеристик пласта вследствие образования кольматации, за счет осаждения веществ растворенных в технологических растворах, или механического перемещения частиц рудовмещающего горизонта, а также выделений газа. При решении проблем с кольматацией скважин, в первую очередь необходимо определить вид кольматации скважин, а затем подбором наиболее подходящих декольматантов обрабатывать как фильтр, так и прифильтровую зону [1].

Механическая кольматация наблюдается в фильтрах вследствие несоответствия проходных отверстий фильтров гранулометрическому составу вмещающих пород. В результате механической кольматации отверстия фильтров заклиниваются или перекрываются песком, глиной, гравием, в связи, с чем удельный дебит скважин снижается.

Химическая кольматация обусловлена нарушением химического состава пластовых вод в результате влияние химических материалов применяемых при подземном выщелачивании и изменением гидродинамических параметров фильтрационного потока. Присутствие в воде растворенных катионов кальция и магния, нарушение углекислотного равновесия приводят к образованию труднорастворимых осадков. Интенсивно происходит выделение карбонатных осадков в зоне фильтров, при удалении от них интенсивность выпадения осадков уменьшается.

Газовая кольматация чаще всего может быть обусловлена выделением CO_2 при реакциях кислоты с карбонатами. Возникает она, когда давление растворенного газа превышает величину гидростатического давления в пласте [2].

Поиск и изучение новых методов регенераций скважин для повышения эффективности процессов, освоения месторождений урана в сложных трудно проницаемых геологических условиях является важной задачей добывающих предприятий.

Основными методами по восстановлению или увеличению проницаемости пород призабойной зоны при проведении ремонтно-восстановительных работ (РВР) является физический, химический и комбинированный способы. При выборе технологии РВР следует исходить из возможности каждого способа декольматации фильтров и прифильтровых областей скважин, а также необходимо учитывать гидрогео.условия, технологией бурения, конструкцией скважины, фильтра и других характерных факторов месторождения.

Пневмоимпульсный способ декольматации скважин на комплексах ПСВ урана является эффективным методом, применение способа обеспечивает декольматацию скважин и прискваженных зон как во вновь осваиваемых, так и в эксплуатирующихся скважинах в достаточно широком спектре геолого-технических условий. Метод воздействия на призабойную зону скважин заключается в использовании энергии сжатого воздуха с последующей передачей ее столбу жидкости в скважине. Под действием этой энергии столб жидкости в скважине начинал совершать возвратно поступательные колебательные движения с частотой, равной собственной частоте колебании столба жидкости. Восстановление проницаемости фильтров и прифильтровых зон происходит за счет пульсации воздушного пузыря и создание гидропотоков знакопеременного направления под давлением 10-12 МПа. В результате пневмоимпульсного воздействия находящиеся на фильтровой поверхности и прифильтровой зоне глинистые осадки или химический кольматант разрушается и выносится гидропотоком в скважину, откуда в последующим удаляются восходящим потоком раствора. К достоинствам пневмовзрыва можно отнести возможность регулирования его гидродинамических параметров и цикличности воздействия в широких пределах, доступность и безопасность рабочего реагента – воздуха. Пневмоимпульсная обработка позволила, ускорить процесс освоения скважин после бурения повысив степень их разглинизации [3,4].

В работе[5], представлена промывка скважин передвижной модульной установки кавитационного типа действия для освоения и очистки скважин на комплексах ПСВ урана. Промывка скважин кавитационной струйной насадкой обеспечивает амплитудно-частотное колебания жидкости. Гидродинамический генератор кавитационных колебаний представляет собой трубку Винтури. Сущность способа, заключается в подаче промывочной жидкости под давлением бурового насоса через гибкий рукав на кавитационно-струйную насадку в фильтровую область, в сечении кавитатора создаются скорости движения жидкости, обеспечивающие падение давление до величин, сопоставимых с давлением насыщенного пара при котором происходит зарождение кавитационных пузырьков. При схлопывании пузырьков внутри, которых возникают высокие давления и температуры, оказывают разрушающие воздействия на кольматирующие образования, смывая песчаные пробки и поднимая их по колонне напором промывочной жидкости на дневную поверхность. Применение ПАВ способствует хорошей смачиваемости породы водой и снижения поверхностного натяжения, на границе раздела вода – кольматант в целом интенсифицирующие процесс. Кольматирующие отложения, прилипшие к твердой поверхности хорошо отмываются, способствуя ускоренному разрушению и выносу кольматирующих образований на поверхность. По составу и химическим свойствам все ПАВ делятся на ионогенные (сульфатонатриевые соли, азолят, сульфонол и др.) неионогенные оксиэтилированные препараты типа ОП, продукты конденсации фракции угольных фенолов с окисью этилена. Добавление в промывочную жидкость ПАВ – сульфонол концентрации от 0,01 до 0,1 вес. % позволит улучшить результаты регенерации скважин на 20% по сравнению с промывкой обычной водой. Проведенные исследования установили, что промывка скважин с применением кавитационо-струйной насадки и ПАВ наиболее эффективна в скважинах сразу после выявления запескованности.

Анализ эффективности воздействия электрогидроударного (ЭГ) метода на кольматирующие отложения из литературы [6,7] основанные на создании электрическими разрядами упругих резонансных колебаний воздействующие на продуктивный пласт. При ЭГ – обработке скважины происходит низкочастотное и сверхнизкочастотное воздействие на пласт и его возбуждение на доминантных частотах на значительном расстоянии от

скважины увеличивающая проницаемость флюидов в породе. При электро взрыве происходит пробой меж электродного промежутка, в котором находится раствор, с образованием канала разрыва, давление в канале повышается, что сопровождается его расширением. На после разрядной стадии канал превращается в газовый пузырь, который в начале расширяется, а затем под давлением гидростатического давления сжимается, создавая знакопеременные движения жидкости. Основным преимуществом данного метода заключается в том, что ЭГ - обработке могут подвергаться скважины с фильтрами практически из любого материала, в том числе из асбестцементных, капроновых или винипластовых труб. Обработка фильтров из различных материалов требует изменение параметров мощности и давления ударной волны, ее длительность и количество импульсов на 1 м его длины, определяющие эффективность электроударной обработки фильтра. Давление ударной волны определяется в основном разрядным напряжением коаксиального кабеля и разрядным промежутком в скважинном разрядном устройстве в пределах до 80 МПа, с частотой в пределах 1-10 Гц. Длительность ударной волны зависит главным образом от емкости конденсаторной батареи. Опыт эксплуатации ЭГ установок на технологических скважинах ПСВ комплексах в рыхлых песчано-силикатных породах показывает, что создаваемый относительно низкочастотный спектр колебаний не эффективен из-за отличия физико-химических характеристик пластовой воды от нефти.

Опыт регенерации геотехнологических скважин на карбонатных блоках показывает, что основная причина низкой эффективности многих способов регенерации скважин заключается в том, что каждый из них направлен на решение какой-то одной задачи: разглинизация стенок скважины, очистка фильтра и прискваженной зоны. Необходимо чтобы регенерация была комплексная и включала операции по восстановлению проницаемости прифильтровой зоны и очистку фильтра от разного рода осадкообразований, увеличивая прирост дебита, на долгосрочный период, сохраняя низкую себестоимость.

В литературе [8] описаны более эффективные методы регенерации скважин, основанные на применении пневмообработок в сочетании импульсами декольматирующих растворов. В результате пневмоимпульного воздействия происходит не только разрушение и диспергирование кольматирующих отложений под действием ударных волн, но и задавливание раствора реагента на значительную глубину в рудоносный пласт под давлением, образующегося при расширении парогазового пузыря и составляющего 5-10 МПа.

Необходимо чтобы освоения был комплексным и включал операции по восстановлению проницаемости прифильтровой зоны и очистку фильтра. Этим требованиям отвечает пневмо-гидроимпульсный способ регенерации, основанный на импульсном воздействии сжатого воздуха в растворе химических реагентов [9].

Сочетание химических реагентов и импульсных нагрузок сжатого воздуха разрушают конгломератовидные водонепроницаемые структуры, создавая дополнительные трещины, увеличивается контакт химических реагентов с цементирующими осадками и обеспечивая более глубокое проникновение реагента за контур фильтра за счет интенсификации массообмена между растворителем и кольматантом лучшего отвода растворенных веществ из зоны контакта. Это способствует более полному извлечению кольматирующих образований из прифильтровой зоны скважины и эффективному восстановлению структуры и пористости водоносной породы, увеличивая межремонтный период скважины. Для проведения технологического процесса требуется, чтобы обсадная колонна скважины была герметична, фильтра открыты и не запескованы [10,11].

Авторами [12] разработана передвижная установка повышенной проходимости для проведения химической обработки непосредственно фильтровой части технологических скважин позволит снизить расходы химических реагентов, и повысит производительность технологической скважины, увеличит скорость отработки технологических блоков в сложных горно-геологических условиях. Сущность метода фильтровой обработки скважин подразумевает обработку непосредственно фильтровой части технологической скважины дозированным нагнетанием раствора декольматирующих реагентов спускаемым гибким рукавом. Дозированная подача заранее приготовленного декольматирующего раствора позволит снизить объем расходуемого химического реагента и проводить обработку преимущественно верхней части фильтра скважины в результате его большей подверженности химического осадкообразования именно верхней части фильтра технологической скважины. Принципиальным отличием передвижной установки фильтровой части технологической скважины от существующих гидродинамических и химических методов воздействия на прифильтровую зону является возможность дозированной подачи химических реагентов в фильтровую область. Выбор кислоты в качестве агента и его оптимальные концентрации в рабочем растворе осуществляют с учетом закольматированности скважины и его геотехнологических параметров. Проведение восстановительных работ передвижной установкой непосредственно фильтровой части технологических скважин позволит повысить эффективность и снизить материальные затраты на обслуживание скважины за счет применения инновационного оборудования. Оборудование, для проведения химической обработки непосредственно фильтровой части технологической скважин включает: емкостное оборудования для приготовления и транспортировки минеральной кислоты; нагнетающий насосный агрегат для подачи минеральной кислоты; лебедка с гибким рукавом для проведения спуск – подъемных операций в скважине. Современное оборудование, применяемое для проведения химической обработки фильтровой части технологических скважин позволит безопасно для обслуживающего персонала производить герметичную дозированную подачу растворов химических реагентов в заданную область фильтра.

Применение передвижной установки химической обработки непосредственно фильтровой части технологических скважин позволит повысить эффективность отработки технологических блоков в сложных геологических условиях и снизит материальные затраты предприятий на эксплуатацию, увеличит межремонтный цикл геотехнологических скважин и снизит расход химических реагентов на этапе отработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Мамилов В.А.*** Добыча урана методом подземного выщелачивания. Москва: Атомиздат 1980.
2. Справочник по геотехнологии урана. Под ред. Скороварова Д.И. – Москва: Энергоатомиздат, 1997.
3. ***Башкатов Д.Н. Роговой В.Л.*** Бурение скважин на воду. Москва: Колос, 1976. - 206 с.
4. ***Ивашечкин В.В., Шейко А.М., Кондратович А.Н.*** Регенерация скважин и напорных фильтров систем водоснабжения Минск: БНТУ, 2008. - 277 с.
5. Патент РК №26619 25.12.2012. Мамытбеков Г.К., Кожахметов С.К., Айтенов С.М., Раимханов А.Е., Шаванда В.В. Передвижная модульная установка кавитационного действия для освоения и очистки скважин. Заявка № 2012/0299.1 от 11 марта 2012 г.
6. ***Молчанов А.А.*** Интенсификация работы нефтегазовых скважин методом упругого резонансного воздействия. НТВ «Каротажник». Тверь: ГЕРС. 2000. Вып. №74. с. 31-40.

7. ***Молчанов А.А. Дмитриев Д.Н, Ушкало В.А.*** Аппаратура импульсного упругого воздействия на нефтяные пласты «Приток — 1» для интенсификации режима работы нефтегазовых скважин. НТВ «Каротажник». Тверь: 1998. Выпуск №50. с. 16-21.
8. ***Mataev M.M., Rakishev B.R., Kenzhetaev G.S***. The impact of ammonium bifluoride complex on colmataging formations during the process ofin situ uranium leaching. International journal of advanced research,-2017,-5(2), p.147-154.
9. Method and device for intensifying the permeability of ground layers close to bore holes and filter bodies and filter layers in wells and other production wells. International Patent WO 2004/063524 A1, 29.07.2004.
10. Method and device for intensifying the permeability of ground layers close to bore holes and filter bodies and filter layers in wells and other production wells. United States Patent. US7.360.596 B2, Apr.22,2008.
11. Impulsgenerator Pulse generator. European Patent. EP1895092 B1. 25.08.2007.
12. Патент на полезную модель №2153, бюллетень №8 от 28.04.2017 г. Передвижная установка для проведения химической обработки непосредственно фильтровой части технологических скважин. Косунов А.С., Шаванда В.В., Копбаева М.П., Мырзабек К.А., Матаев М.М., Кенжетаев Ж.С., Бишимов К.Е., Липинский В.К.,Третьяков С.Ю.

ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ, ПОЛУЧЕНИЕ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА, ПОПУТНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

ПОЛУЧЕНИЕ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ НИТРАТНО-СЕРНОКИСЛЫХ ДЕСОРБАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТВОРОВ АММИАКА И УГЛЕАММОНИЙНОЙ СОЛИ

[1]Смирнов А.Л., [1]Титова С.М., [1]Рычков В.Н., [2]Попонин Н.А.
[1]ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия
[2]АО «Далур», с.Уксянское, Россия

Концентрат природного урана является конечным продуктом урандобывающих заводов. Требования, предъявляемые к качеству готового продукта, определяются последующей операцией аффинажа. Строго регламентируется элементный состав концентрата. Допустимые пределы содержания урана и примесей, а также влажность концентрата, установлены Базовой спецификацией и международным стандартом ASTM C967-08.

Завершающим этапом технологической цепочки производства химконцентрата является осаждение полиуранатa аммония из нитратно-сернокислых десорбатов, полученных в результате сорбционной переработки продуктивных растворов подземного выщелачивания урана. В качестве реагента-осадителя возможно использование аммиака, едкого натра, извести [1]. В десорбатах, поступающих на осаждение, уран находится в шестивалентном состоянии U(VI). Гидролиз солей уранила проходит в широком диапазоне pH (3,8-6,0). Поэтому, осаждение ведут при высоких значениях pH. Однако, существуют ограничения диапазона pH осаждения, обусловленное образованием двойных солей сложного состава $(NH_4)_4((UO_2)_2(SO_4)O_2)_2 \times (H_2O)$ в слабокислой области, в результате чего возможно завышение содержания сульфат-иона в готовом продукте. Повышенное содержание сульфат-ионов в концентрате приведет к снижению извлечения урана трибутилфосфатом в процессе экстракционного аффинажа [1]. В технологической схеме действующих предприятий осаждение концентратов урана осуществляется растворами углеаммонийной соли в каскаде реакторов.

В данной работе рассмотрена возможность получения концентрата урана посредством комбинированного осаждения аммиаком и раствором УАС состава 70% NH_4HCO_3 + 30% $(NH_4)_2CO_3$.

На начальном этапе исследование вели в лабораторных условиях. Осаждение проводили из нитратно-сернокислых десорбатов следующего состава, г/дм^3: U – 24,18; S – 16,31; H_2SO_4 – 18-22; SO_4^{2-} = 40-50; NO_3^- = 45-55. Температура процесса составила 42-45^{0}C. На I стадии нейтрализацию осуществляли 25% водным раствором аммиака до значений pH 2,5-4,5 при непрерывном перемешивании механической мешалкой с частотой 700 об/мин. Время выдержки пульпы при заданном значении pH составило 1 ч. Дальнейшую нейтрализацию до pH 6,8 вели раствором углеаммонийной соли с концентрацией 180 г/дм^3 при непрерывной продувке реакционной смеси воздухом: отвод углекислого газа способствует повышению pH реакционной пульпы и снижает возможность перехода урана в раствор за счет образования карбонатных комплексов уранила [2]. Суспензию выдерживали при данном значении pH в течение 1 ч, фильтровали, отмывали от маточника, сушили в течение 2 часов при температуре 120^{0}C. Границы диапазона pH на I ступени осаждения определяли, исходя из содержания урана и серы в сухом веществе концентрата (Таблица 1).

Увеличение pH на первой стадии нейтрализации десорбата аммиаком свыше значения pH 4,0 не допустимо в связи с наличием большого количества серы в концентрате; содержание урана при этом снижается. Согласно требований международного стандарта ASTM C 967-08, содержание серы в урановом концентрате не должно превышать 1% от массы урана, в то время как содержание урана должно быть не менее 65 масс.долей %.

Таблица 1. Содержание урана и серы в концентратах

Величина pH после нейтрализации 25% раствором аммиака	Величина pH после нейтрализации углеаммонийной солью	Содержание в концентрате, масс.долей%	
		U	S
2,5	6,8	65,07	0,07
3,0	6,8	65,02	0,075
4,0	6,8	73,75	0,13
4,5	6,8	65,01	7,05

При нейтрализации десорбата до значения pH 2,5 на первой ступени получен кондиционный концентрат по содержанию урана и серы, однако, при данном режиме осаждения произойдет неоправданный перерасход углеаммонийной соли. Таким образом, оптимальные значения pH первой ступени нейтрализации десорбата водным раствором аммиака находятся в диапазоне от 3,0 до 4,0.

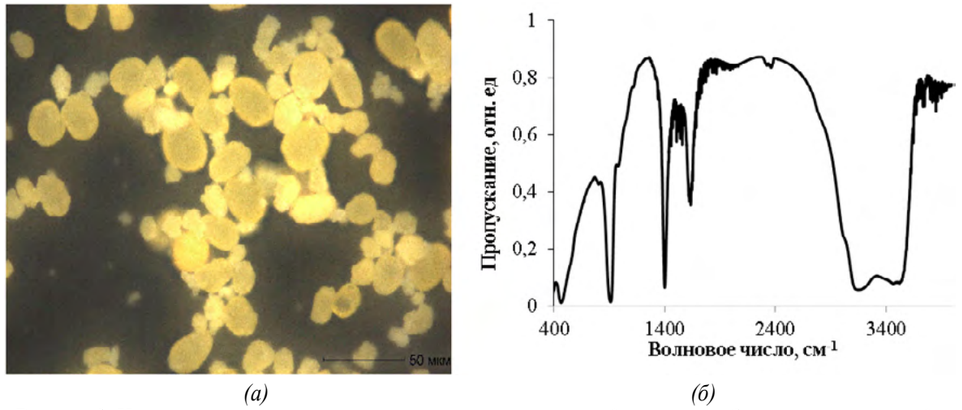
Таблица 2. Элементный состав химконцентратов, полученных при опытно-промышленных испытаниях технологии осаждения урана комбинированным методом

Режим осаждения	1 ст.: аммиак до pH 3,0; 2 ст.: раствор УАС до pH 6,8	1 ст.: аммиак до pH 3,5; 2 ст.: раствор УАС до pH 6,8	Базовая спецификация	ASTM C967-08
Элемент	Масс. % от массы урана			
As	0,009	0,006	-	0,05
B	0,009	0,006	0,1	0,005
Ca	0,043	0,029	1	0,05
Fe	0,025	0,015	-	0,15
I	0,433	0,291	-	0,05 (сумма галогенов)
K	0,009	0,006	0,2	0,2
Mg	0,04	0,038	0,5	0,02
Mo	0,189	0,172	0,3	0,1
Na	0,009	0,035	0,5	0,5
P	0,043	0,029	-	0,1
S	0,429	0,503	4	1
Si	0,201	0,126	2,5 (по SiO_2)	0,5
Th	0,043	0,029	2,5	1
Ti	0,009	0,006	-	0,01
U	67,81	73,21	65	65
V	0,001	0,001	0,06	0,06
Zr	0,099	0,086	-	0,01
H_2O	1,41	1,65	2,00	2,00

На основании данных лабораторных экспериментов проводили опытно-промышленные испытания предлагаемой технологии осаждения в каскаде реакторов. Примесный состав наработанных концентратов, а также лимиты, установленные Базовой спецификацией и стандартом ASTM C967-08 приведены в таблице 2.

По содержанию урана и серы образцы полученных концентратов удовлетворяют требованиям стандартов. Имеются превышения лимитов, установленных ASTM C967-08, по бору и молибдену, значительно превышен лимит по цирконию. Примесный состав химконцентратов удовлетворяет требованиям Базовой спецификации. Результаты определения содержания галогенов, в связи с техническими возможностями, на данном этапе исследования ограничены йодом и представлены грубо. Совершенствование методики анализа содержания галогенов является одной из поставленных задач.

Концентраты урана исследовали методом ИК-спектрометрии. Для спектра исследуемого образца (Рисунок 1б), полученного по комбинированному методу осаждения, можно выделить следующие пики. Интенсивный пик в области 915 $см^{-1}$ соответствует антисимметричным валентным колебаниям UO_2^{2+}. Наличие пика поглощения в области 1 400 $см^{-1}$ и уширенной полосы в области 3 150 $см^{-1}$ обусловлено трижды вырожденными антисимметричными колебания группировки $[NH_4]^+$. Полоса с волновым числом 1 630 $см^{-1}$ соответствует деформационным ножничным колебаниям гидроксильной группировки $[OH]^-$. Слабый пик поглощения в области 2 370 $см^{-1}$ обусловлен присутствием углекислого газа в камере прибора. Наложение полос спектра в области 3 400-3 600 $см^{-1}$ вызвано колебаниями $[OH]^-$ - группировки воды [3,4].



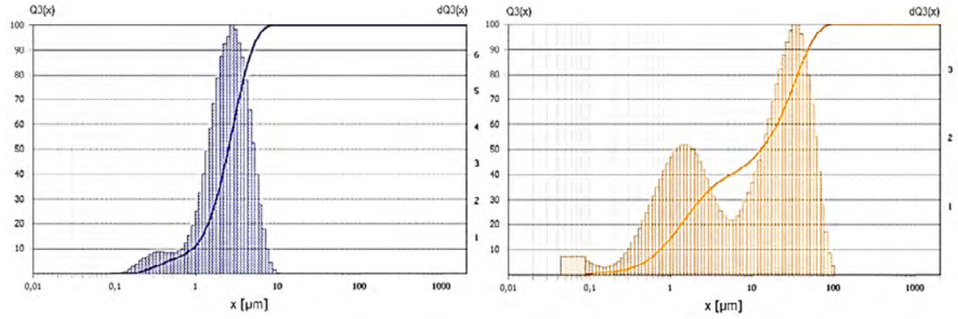
(а) *(б)*

Рисунок 1. Частицы концентрата урана, полученного при осаждении по комбинированному методу, под оптическим микроскопом (а) и ИК-спектр данного осадка (б)

Исследование порошка концентрата при помощи оптического микроскопа (Рисунок 1а) позволяет определить, что форма частиц осадка приближена к сферической. Это обусловливает высокое значение насыпной плотности утряски порошка, которая составляет 1,719 $г/см^3$. Возможность получения концентрата с высокой насыпной плотностью позволит, при эксплуатации технологии на предприятии, снизить транспортные расходы за счет сокращения количества тары, необходимой для перевозки готовой продукции.

К гранулометрическому составу концентратов природного урана жестких требований не предъявляется. Однако дисперсность порошка готового продукта также является одним из факторов, влияющих на насыпную плотность утряски, в связи с чем предпочтительным является получение крупнодисперсных концентратов.

Анализ гранулометрического состава осадков проводили методом лазерной дифракции на приборе Analysette 22 NanoTec plus. На исследование направляли как пробы суспензии, так и образцы промытых и высушенных концентратов. Гистограммы распределения частиц концентрата по размеру приведены на рисунке 2.



(а) *(б)*

Рисунок 2. Гистограммы распределения по размеру частиц суспензии концентрата урана (а) и сухого порошка (б)

Средний диаметр частиц суспензии составил 2,7 мкм. При этом наблюдалась высокая скорость отстаивания и фильтрации пульпы. Агломерация частиц осадка в процессе сушки приводит к увеличению среднего диаметра частиц порошка сухого концентрата до 18,9 мкм.

Таким образом, метод комбинированного осаждения концентрата урана, заключающийся в нейтрализации нитратно-сернокислого десорбата на первой стадии аммиаком до pH (3,0-4,0), затем раствором углеаммонийной соли до pH 6,8, позволяет получать концентраты с высокой насыпной плотностью утряски, удовлетворяющие требованиям Базовой спецификации по примесному составу, а также требованиям международного стандарта ASTM C967-08, за исключением бора, молибдена и циркония.

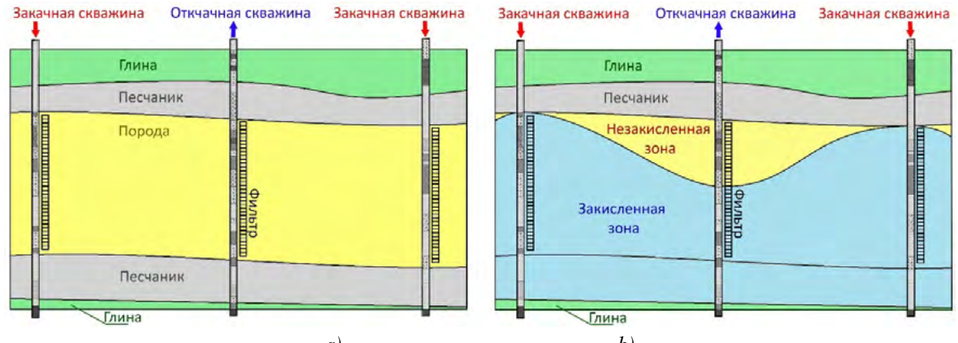
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Тураев Н.С. и Жерин И.И.***, Химия и технология урана. М.: Руда и металлы. 2006. 396 с.
2. ***Липилина И.И.***, Уранил и его соединения. М.: Издательство академии наук СССР. 1959. 316 с.
3. ***Накамото К.***, ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир. 1991. 536 с.
4. ***Беллами Л.***, Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Издательство иностранной литературы. 1963. 590 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОБЫЧЕ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Құрмансейіт М. Б., Тунгатарова М.С.
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Метод сернокислотного выщелачивания является очень распространенным, так как использование данного метода позволяет значительно снизить расходы. Этот метод используется для извлечения полезного компонента в большинстве урановых месторождениях Казахстана. Поскольку плотность выщелачивающего раствора (серная кислота) немного выше (около 1,2), чем плотность грунтовых вод (1), необходимо учитывать гравитационный эффект, так как это может повлиять на направление потока. Благодаря этому гравитационному эффекту более плотная среда имеет тенденцию течь вниз. Закисленная среда (серная кислота + вода) не достигает верхней области откачной скважины из-за разности плотностей, как показано на рисунке 1.



a) *b)*

Рисунок 1. Метод сернокислотного выщелачивания, используемый для извлечения урана: а) до добычи урана, b) после добычи урана

Исследования показали, что, во время процесса выщелачивания, некоторые области (остаточные зоны) не выщелачиваются из-за пренебрежения гравитационным эффектом при численном моделировании процесса. Поэтому любое гидродинамическое моделирование процесса должно учитывать силы тяжести в Законе Дарси (закон сохранения движения в пористой среде).

БТК (БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-ТЕХНИКАЛЫҚ КЕШЕНДЕР) НЕГІЗІНДЕГІ АФФИНАЖ ТОРАБЫНЫҢ БҰҒАУЛАРЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ БЖ (БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМАСЫ)

Мурзахметов С.Б.
ТОО «Каратау», Шымкент, Казахстан

БАЯНДАМА

Динамикалық қасиеттері өзгеруі мүмкін объектілерді басқарған кезде, көбіне басқарудың үлгілік заңдарының икемдеулерін басқару объектісінің өзгеріске ұшыраған динамикалық қасиеттеріне сәйкес өзгертуге мүмкіндік беретін бейімделген басқару жүйелері қолданылады. Бейімделген басқару жүйелерін іске асырудың нұсқалары әртүрлі болады, дегенмен көбіне бейімделген алгоритмдердің құрылымы біршама күрделірек болып келеді және өзіне жүктелген функциялардың орындалуын әркез қамтамасыз ете алмайды. Сондықтан басқару объектісінің динамикалық қасиеттері өзгерген кезде,басқару жүйесі өзін қалай көрсететіндігіне қатысты зерттеу өткізу жөнінде және бұған қоса басқару объектісін сәйкестендіру негізінде оны анықтамай, нақты келісілмеу жағдайында белгіленген жинақтағы үлгілік басқару заңдарының параметрлерін өзгерту туралы шешім қабылданды.

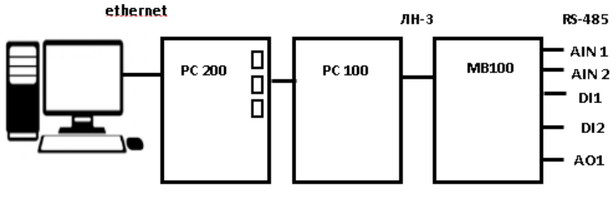
Жұмыс барысында ТҮАБЖ (технологиялық үдерістерді автоматтандырылған басқару жүйесі) БЖ бойынша зерттеулер өткізілді, жүйенің құрылымы, оның ұйымдастырылуы туралы мәліметтер келтірілді. Үлгілік ПИД (пропорционал-интеграл-дифференциял)-реттеуіштің бұғауларын басқару алгоритмі әзірленді, технологиялық бағдарламалау жүйесінің стандартты рәсімдерінің жиынтығы кеңейтілді.

НЕГІЗГІ КОНСТРУКТИВТІК ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ-ЭКСПЛУАТАЦИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕР

Жүйе жұмыс режиміне қарай өзінің динамикалық қасиеттерін өзгертуі мүмкін динамикалық объектілерді реттеу жүйесінің жұмысын басқаруға және бұғаулауға арналған, бұл ретте сипаттамалардың өзгеруінің ауқымы белгісіз болады деп болжамданады.

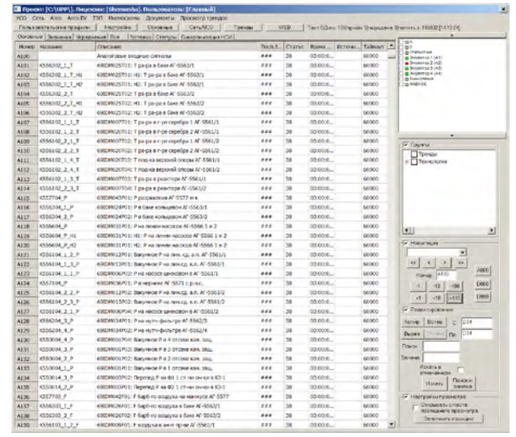
Материал жауапты әрі қауіпті өндірістерде осы тәрізді мәселелермен айналысатын әзірлеушілер үшін пайдалы болуы мүмкін.

Әзірленген алгоритмді жүзеге асыру үшін, төмендегі суретте көрсетілген төменгі және ортаңғы деңгейдегі ТҮАБЖ құрылымын қарастыру керек.

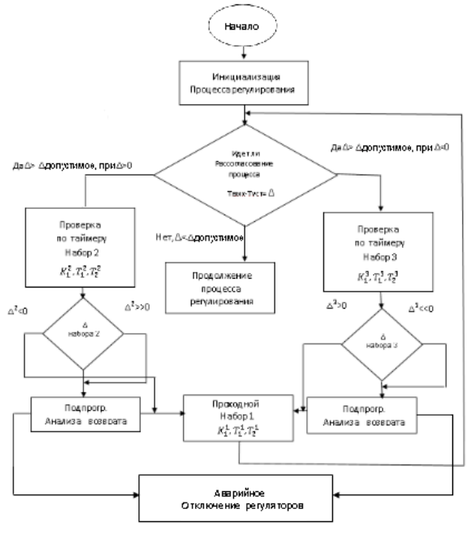


Ұсынылған сызбада кіріс-шығыс модульдері мен ДЭЕМ (дербес электрондық есептеуіш машина) арасындағы байланыс пен өзара әрекеттесуді ұйымдастыруға, сондай-ақ

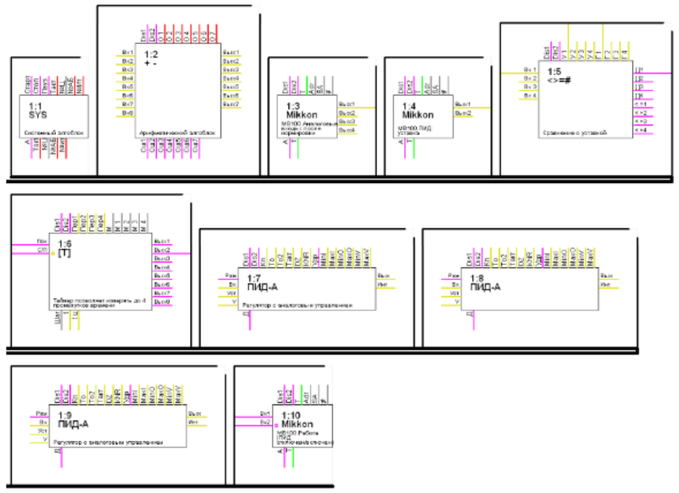
есептеулер жасауға, кіріс-шығыс сигналдарын өңдеуге, үлестірілген желілерге қолдау көрсетуге және т.б. арналған «УмиКон» РС200 БТК орталық процессорының модулі көрсетілген. Орталық процессордың бұл модулінде шынайы уақыттың деректер қоры – MWBridge.EXE бағдарламасы жұмыс істейді, ол қадағалардың сауалнамасын жүргізіп, өзінде бекітілген басқару алгоритмдеріне сәйкес басқарушы ықпалды жүзеге асырады. MWBridge бағдарламасының графикалық интерфейсі төмендегі суретте көрсетілгендей болады.



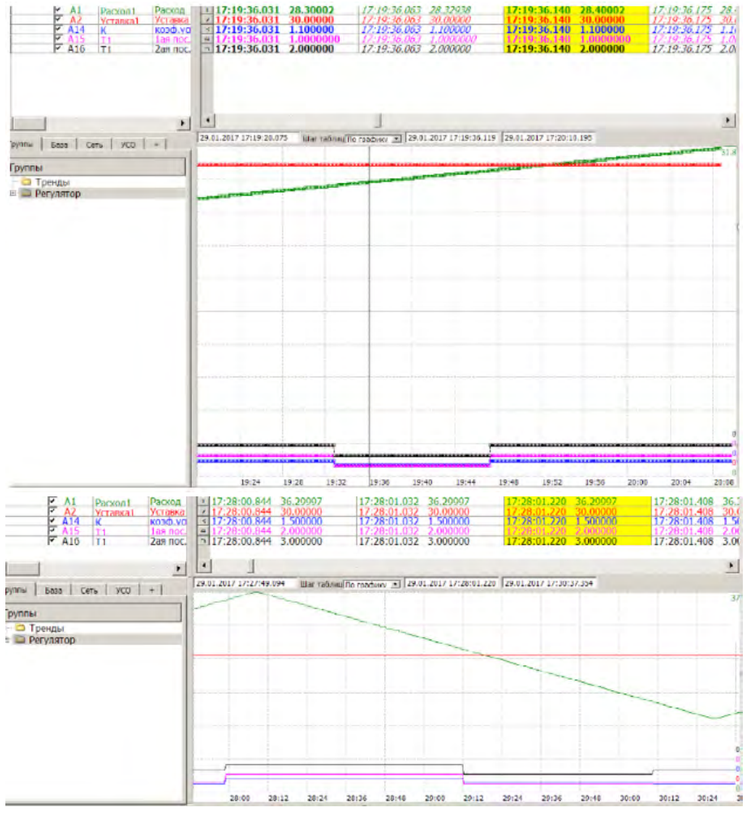
Технологиялық бұғаулардың алгоритмдерін бағдарламалау кіріктірілген технологиялық алгоритмдік блокты бағдарламалау тілдерінің көмегімен жүзеге асырылады, төменде осы бағдарламалау тілінде іске асырылған алгоритм көрсетілген, алгоритмнің мәні, реттеу үдерісі қанағаттанарлықсыз болған жағдайда, үлгілік басқару заңының икемдеулерін (реттеуіштің икемдеулерін) ауыстырудақамтылады. Бұл жағдайда реттеуіштің икемдеулері келісілмеу шамасын, келісілмеу белгісін ескере отырып ауыстырылады, сондай-ақ келісілмеудің ұйғарынды уақыты сақталады. Егер реттеуішті тиісті түрде қайта икемдеу мүмкін болмаса, басқару алгоритміреттеуіштің жұмысына бұғау салады, бұл жағдайда оператордың дисплейіне апаттық хабарлама беріледі.



Бұғауларды басқару жүйесінің БЖ-ын әзірлеу жұмыстары аяқталғаннан кейін, алгоритм имитаторда тексерілді.



Төмендегі суретте алгоритмнің жеке жұмысы көрсетіледі.



Тексеру нәтижелері әзірленген БЖ табысты жұмыс істеп тұрғанын көрсетеді.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОВАРНОГО РЕГЕНЕРАТА (ЭЛЮАТ) В ПРОЦЕССЕ РЕГЕНЕРАЦИИ

Хужаев Ж.Э., Халимов И.У., Аликулов Ш.Ш.
НГГИ, Навоий, Узбекистан

При десорбции необходимо не только выделить уран из ионита, но и сконцентрировать его в максимально малом объеме.

Сущность способа десорбции заключается в вытеснении из зерен анионита ионов уранилтрисульфата подходящими анионами- депрессорами без изменения ионной формы поглощенного компонента. Вещество, применяемое для десорбции урана, называется ***десорбентом***, раствор, в который перешел уран из молекул ионита – ***десорбатом***.

Минимальный расход элюента (исходного раствора) достигается обычно при некоторой оптимальной концентрации.

С ростом концентрации элюента скорость элюирования возрастает вследствие смещения ионообменного равновесия. Вместе с тем значительное повышение концентрации элюента может привести к падению скорости элюирования главным образом из-за усадки ионита, приводящей к уменьшению коэффициентов диффузии ионов.

Размер зерен ионита оказывает значительное влияние на процесс элюирования. С увеличением зернения ионита, скорость элюирования снижается.

В основе регенерации ионообменных материалов лежит химическая реакция обмено- вытесняющих ионов и ионов химически связанных с функциональными группами смолы. Поэтому во всех случаях, за исключением процесса десорбции, т.е. удаление необменно поглощенных ионитом веществ за счет физической адсорбции, имеет место химическая реакция с обязательным присутствием вытесняющих ионов. Эти ионы могут быть введены в процесс с различными химическими реагентами. Такой тип регенерации называется ***реагентной регенерацией***.

Химическая регенерация занимает основное место в ионообменной регенерации. Она позволяет получить любую необходимую степень регенерации, провести процесс регенерации в требуемом временном диапазоне, довести концентрацию извлекаемого иона в регенерате до нужного уровня.

В отличие от ионообменной сорбции процесс регенерации имеет ряд особенностей.

- регенерация в большинстве случаев связана с вытеснением иона, к которому ионит проявляет большую селективность, чем к иону, присутствующему в регенерате, т.е. процесс протекает при относительно неблагоприятных равновесных характеристиках. Изотерма обмена регенерирующего иона, как правило, вогнутая;
- растворы регенерата имеют относительно большую концентрацию, чем те, из которых ведется процесс сорбции. При этом возможны такие эффекты, как необменная сорбция регенерата, набухание (сжатие) ионита и т.д. за счет резкого изменения pH;
- регенерирующие растворы могут иметь сложный состав и включать комплексообразующие компоненты;

— частично отработанные регенерирующие растворы с различной концентрацией извлекаемого из ионита компонента часто используются при регенерации повторно (использование возвратов). На участок переработки продуктивных растворов (УППР) к таким растворам можно отнести маточники фильтрации и растворы денитрации. С одной стороны такой возврат ведет к снижению удельных норм расхода дорогостоящих химреагентов азотной кислоты и аммиачной селитры, с другой – идет накопление солесодержания растворов, что осложняет анализ процесса регенерации. Поэтому при повышенном накоплении необходимо частично сбрасывать накопившиеся растворы в кондиционный отстойник и добавлять необходимое количество тех. воды;
— разнообразие требований к технологическим условиям проведения процесса регенерации (получение концентрированных растворов извлекаемого компонента, селективное извлечение из ионообменных материалов только отдельных компонентов, образование определенной формы ионита после восстановления его емкости) требуют оптимального подбора варианта проведения регенерации для каждого конкретного случая. По типу применяемого десорбента различают сернокислотную и нитратную десорбцию.

Регенерация на УППР смолы в фильтрах осуществляется противоточно, т.е. направление движения регенерирующего раствора через слой сорбента противоположно движению раствора при сорбции. Регенерацию проводят при малых скоростях подачи исходного раствора 1-5 м/час. Применение противотока позволяет:
— увеличить среднюю движущую силу процесса;
— сократить в 2-5 раза необходимое время контакта;
— сократить расход хим. реагентов;
— реализовать большое число ступеней изменения концентрации;
— увеличить динамическую емкость ионита и сократить его расход.

Для эффективного проведения противоточной регенерации необходимо, чтобы сорбент в колоннах не перемешивался, если подача регенерирующего раствора осуществляется снизу, раствор подается в виде исходной десорбирующего раствора. В процессе регенерации подача десорбирующего раствора проводиться с помощью промежуточных емкостного оборудования. Это приводит к непрерывной подаче десорбирующего раствора, регулированию содержания полезного компонента в товарном регенерате. Оборудования оснащено вертикальными насосами типа TNP-MUNCH.

Эффективное проведение процесса регенерации даёт разделение цепочки регенерации. Разделение цепочки и снижение линейной скорости регенерации повышает контакт раствора с ионообменной смолой и повышает содержание полезного компонента (уран). Разделение раствора с помощью насоса в ступенчатом режиме приводит к снижению линейной скорости раствора в регенерационной колонне и повышению содержания урана в товарном регенерате около 15%. Линейная скорость регенерации составляет в данный момент 2,5 м/с, содержания полезного компонента составляет 35%. При разделении раствора в регенерационных колонах позволяет увеличивать содержание полезного компонента и увеличивать коэффициент извлечения металла с регенерации на 97% и содержание полезного компонента на 10%. Данное разделение линии потока десорбирующего раствора приводит к экономии электроэнергии на 50% и снижению прочих расходов на производстве и снижению себестоимости готовой продукции на 1,5%.

СЖИГАНИЕ НЕКОНДИЦИОННЫХ УРАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

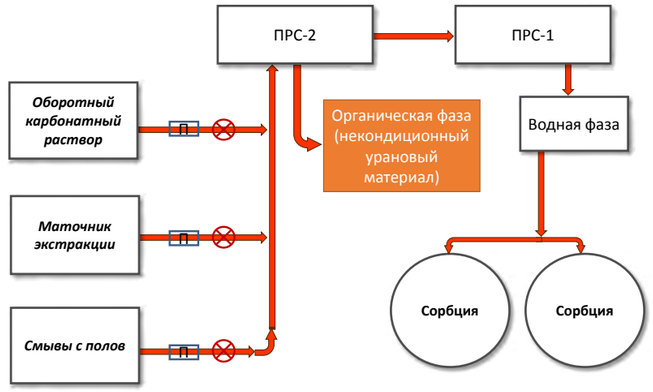
Мащенко В.В., Токсанбаев Б., Айдуйсенов Б., Нуржанов К.
ТОО «Казатомпром-SaUran», ЮКО п. Таукент, Казахстан

Технология получения ЗОУ на ТОО «Казатомпром-SaUran» основана на классической экстракции урана с применением органических экстрагентов (ТАА+Ди2ЭГФК), растворённых в углеводородном сырье. Вначале это был керосин, затем специальное дизтопливо. В процессе переработки товарного десорбата в оборотных карбонатных растворах (ОКР) накапливается нитрат-ион, содержащийся в товарных десорбатах и пагубно влияющий на кристаллизацию АУТК (аммонийуранилтрикарбонат), поэтому периодически необходимо выводить из процесса часть ОКР на пескоотстойник. Определенная часть органики теряется вместе с этими растворами. Кроме того, в процессе работы экстрагенты теряют свои первоначальные физико-химические свойства и их нужно обновлять. Наконец, образование «третьей фазы» - бороды тоже ухудшает экстракцию и её необходимо выводить из процесса.

До внедрения печи сжигания, такая отработанная органика собиралась с поверхности водных растворов и переводилась в пастообразное состояние, близкое к твёрдому, с применением перлита (кизельгур). Такое физическое состояние было названо некондиционным урановым материалом (НУМ). Затем этот материал загружался в ТУК-118 и отправлялся на завод-переработчик, где по специальной технологии перерабатывался в закись-окись природного урана ЗОУ.

Действующая схема сбросных растворов аффинажного цеха

KAZATOMPROM SAURAN



Проблема с дальнейшей переработкой.

KAZATOMPROM SAURAN

В составе уранового некондиционного материала	
U, %	от 1 до 8
pH	от 0,5 до 6,5

Краткое описание процесса

KAZATOMPROM SAURAN

Обогрев технологических растворов осуществляется паром, вырабатываемым электрическими парогенераторами ПГЭ-250	
кол-во	6 ед.
мощность одного парогенератора	180 кВт

KAZATOMPROM SAURAN

Схема сжигания некондиционного уранового материала АфЦ

KAZATOMPROM SAURAN

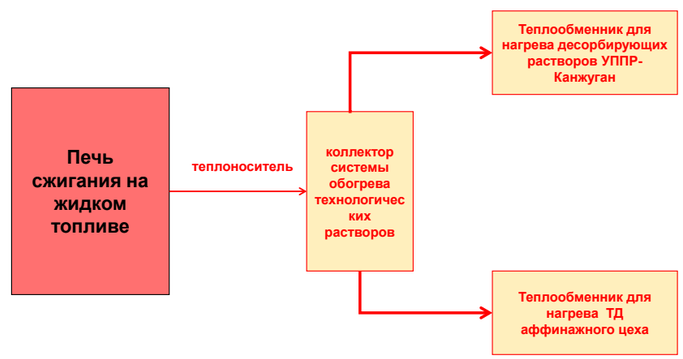
Характеристика печи сжигания

KAZATOMPROM SAURAN

Топливо	Жидкое
Расход топлива, л/час	18
Температура в камере сгорания, °С	До 800
Тепловая мощность (попутная), кВт	400
Объем обогреваемых технологических растворов, м3/час	40
Расход рабочей среды, м³/ч	13,8
Температура воды, °С	70-95
Давление рабочей среды, МПа (кгс/см²)	2,5-6
Габаритные размеры котельного блока, не более:	
Длина, мм	2242
Ширина, мм	748
Высота, мм	1694

Предлагаемая схема обогрева технологических растворов

KAZATOMPROM SAURAN



Технологическая и экономическая целесообразность сжигания некондиционного уранового материала.

KAZATOMPROM SAURAN

- На 80% снизить физический объём некондиционного уранового материала, тем самым сократить расходы на перевозку для переработки на других предприятиях;
  Переработать огарок в дополнительную готовую продукцию по упрощённой технологии;
- За счет остановки электропарогенераторов снизить потребление электроэнергии на 0,7 МВт*час (4 708 МВт в год, Экономический эффект 63 282 тыс.тенге).
- Ликвидация заражения ионообменной смолы органикой. Снижение экологической нагрузки.
- Снижение удельной нормы перлита на 90%.

Данная печь предназначена для сжигания такой органики, но уже в другом физическом состоянии – жидком, после отстаивания и фильтрации растворов на мембранно-керамических фильтрах, без использования перлита. Тепловая энергия, выделяющаяся при сжигании, используется для нагрева технологических растворов.

Печь сжигания представляет собой стальной водогрейный котел, работающий на жидком топливе, где в качестве горючего материала используется жидкая органическая фаза. Разделение жидкой и твердой органической фазы производится, как уже говорилось, путём отстаивания и фильтрации оборотных карбонатных растворов АфЦ на мембранно-керамической фильтровальной установке. Жидкая фаза подается на горелку печи, расход топлива 18 л/час. Печные газы, после снятия тепла на теплообменниках, направляются на систему газоочистки, которая состоит из вентилятора, высокотемпературного фильтра и скруббера мокрой очистки газов. Уловленная пыль с фильтра и огарок от печи направляются на дальнейшее извлечение урана.

Технологическая и экономическая целесообразность от сжигания некондиционного уранового материала заключается в:

1. снижение физического объёма НУМ до 80%, что уменьшает расходы на транспортировку;
2. полученный огарок проще переработать до ЗОУ;
3. тепло энергия печных газов от сжигания НУМ используется для нагрева технологических растворов, останавливаются парогенераторы,-экономия электроэнергии;
4. снижение нормы расхода перлита до 90%;
5. ликвидация «заражения» ионообменной смолы органикой.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ДЕСОРБАТОВ И СНИЖЕНИЕ В НИХ ПРИМЕСЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Бердалиев Б.А., Калмаганбетов Е.З., Прокудин В.Г., Кауменов А.Е.
ТОО «Байкен-U», г. Кызылорда, Казахстан

В последние годы появился ряд теоретических и экспериментальных исследований в области применения ультразвуковой техники и технологии. Разработанные ультразвуковые технологии находят все более широкое применение в металлургической, машиностроительной, и химической отраслях промышленности.

Производя ультразвуковую кавитационную обработку жидкой среды, возможно получение химических реакций, невозможных в других условиях. Энергия активации многих химических процессов настолько велика, что для их успешного проведения необходимы высокие температуры, сложные и дорогостоящие каталитические комплексы, повышенная концентрация реагентов и т.д., экономичной и технологичной альтернативой им является ультразвуковая кавитация.

В уранодобывающей промышленности ультразвуковые технологии в настоящее время не нашли широкого применения, хотя используются в схожих процессах других отраслей промышленности.

Так, существующие ультразвуковые технологии и оборудование могут применяться для повышения эффективности извлечения урана из продуктивных растворов в таких процессах как сорбция, десорбция, экстракция, реэкстракция и осаждение.

Испытания новой технологии ультразвукового воздействия проводились на процессы отмывки и десорбции. Испытания проводились с использованием специально разработанной и изготовленной УЗ системы типа «НО-333.2», состоящей из генераторов и излучателей, которые посредством адаптеров крепились на внешней поверхности корпусов колонн. Ниже приведены более детальные описание и результаты выполненных работ.

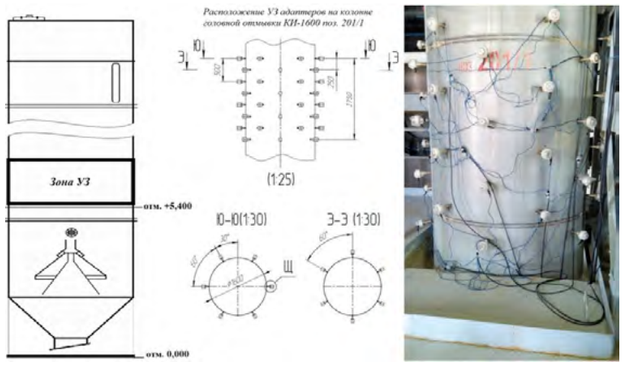
ПРОВЕДЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ГОЛОВНОЙ ОТМЫВКИ

В связи с тем, что на содержание в готовом товарном десорбате железа, кремния, фосфора и кальция влияет эффективность предварительной отмывки насыщенной ураном смолы, было принято решение на первом этапе провести испытания УЗ воздействия на процесс головной отмывки. Головная отмывка насыщенного анионита дополнительно позволяет частично избавиться от ряда сопутствующих взвесей и тонких частиц, тем самым давая возможность получить на стадии десорбции более чистый ТД. В ЦППР рудника «Харасан-2» головная отмывка насыщенного анионита проводится маточным раствором сорбции (содержащим наименьшее количество механических взвесей) в промывочной колонне КИ-1600 (поз. 201/1-3).

С целью интенсификации процесса головной отмывки насыщенного анионита и снижения количества примесей, поступающих в товарный десорбат, на колонну головной

отмывки поз. 201/1 сотрудниками ТОО «ИВТ» в соответствии со схемой были установлены 48 ультразвуковых излучателей.

После точной настройки и запуска УЗ установки в тестовом режиме, УЗ установка была запущена со всеми 48 ультразвуковыми излучателями на резонансной частоте. Установка работала непрерывно в течение 5 суток, за исключением ежедневной профилактической остановки на 10-15 мин, производимой только уполномоченным сотрудником ТОО «ИВТ» с целью её осмотра и проверки исправности. Определение эффективности УЗ воздействия на отмывку осуществлялось путем сравнения результатов, получаемых при работе контрольной колонны отмывки без обработки ультразвуком (поз. 201/2) и опытной колонны отмывки с обработкой ультразвуковыми колебаниями (поз. 201/1).

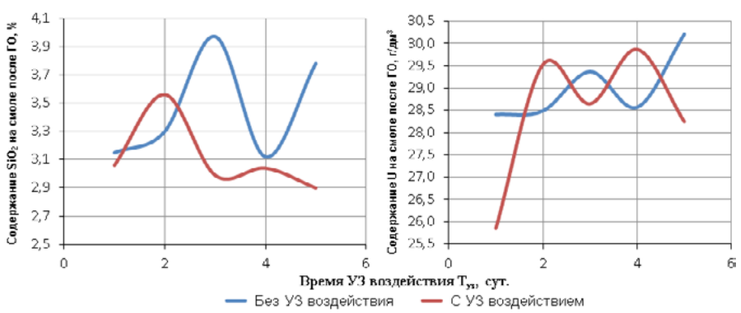


В соответствии с утвержденной программой проведения испытаний для колонны КИ-1600 поз. 201/1 были выбраны следующие точки опробования:

- насыщенная смола, поступающая на головную отмывку;
- возвратный раствор;
- отмытая насыщенная смола, выходящая из колонны отмывки;
- маточники головной отмывки.

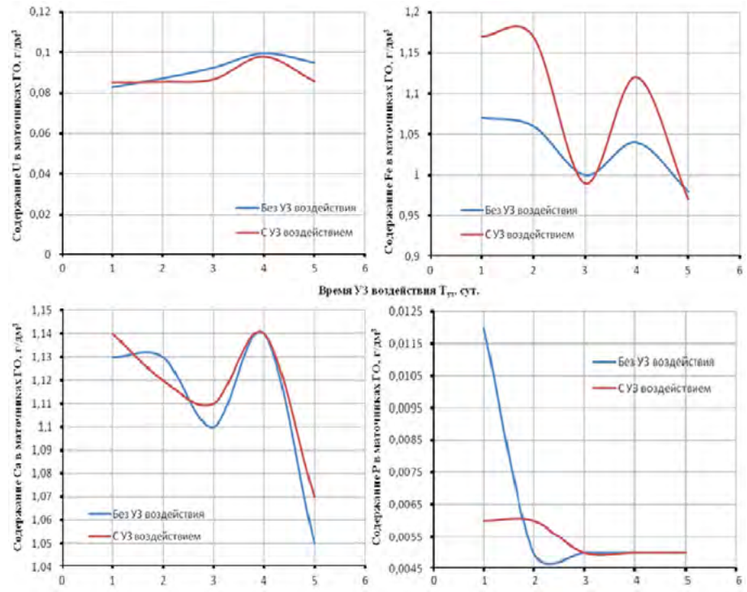
Все пробы запечатывались, маркировались и затем консолидировано были отправлены спецтранспортом в лабораторию ТОО «ИВТ-Зерде» для проведения анализов на определение массовых концентраций урана, кремния, кальция, фосфора и железа. Ниже приведены результаты анализов.

Изменение содержания на отмытой смоле кремния и урана представлено на рисунке ниже.



Как видно из полученных результатов – ультразвуковая обработка позволила в процессе головной отмывки снизить содержание кремния на отмытой смоле в среднем на 17%.

Графически эффективность работы головной отмывки с использованием ультразвукового воздействия видна из зависимостей изменения содержания U, Fe, Ca и P, от количества подаваемого раствора на ГО в маточниках головной отмывки.



Как видно из полученных результатов, применение ультразвукового воздействия на процесс головной отмывки, повышает ее эффективность для железа на 10,9%, для кальция на 1,1% и для фосфора на 5,4% и при этом не уменьшает содержание урана на отмытой насыщенной смоле, выходящей из колонны головной отмывки. Небольшое уменьшение содержания основных компонентов в маточниках головной отмывки с УЗ воздействием при подаче на отмывку 57 м³/сутки промывных растворов.

Применение ультразвукового воздействия в процессе головной отмывки насыщенного анионита позволяет снизить на отмытой насыщенной смоле в среднем на 17% содержание кремния и в дальнейшем повысить качество получаемого товарного десорбата.

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ДЕСОРБЦИИ

Десорбция сорбированного урана – это наиболее ответственная, сложная и трудоемкая технологическая операция. Процесс десорбции основан на способности некоторых химических соединений в определенных условиях вытеснять сорбируемые элементы из структуры анионита, замещая его соответствующими противоионами, в нашем конкретном случае – нитрат-ионами.

Насыщенный анионит из колонн головной отмывки КИ-1600 поз. 201/1-3 перекачива-

ется эрлифтом в напорные бункеры U-образных колонн СДК-1500 поз. 202/1-6. Внутри колонны СДК-1500 анионит циклически передвигается в импульсном режиме под воздействием сжатого воздуха противотоком движению растворов и последовательно проходит ряд зон, соответствующих следующим процессам (по направлению движения анионита):

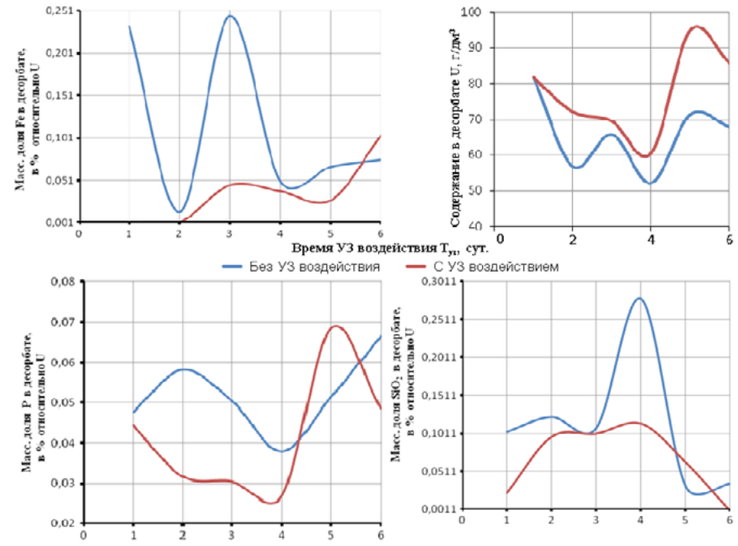
- зона донасыщения – сорбция урана из «бедной» фракции ТД;
- зона нитратной десорбции урана с анионита.

Расположение УЗ излучателей на ветви десорбции колонны СДК-1500 поз. 202/1 в ЦППР рудника «Харасан-2».

Оценка влияния УЗ воздействия на процесс десорбции осуществлялась путем сравнения показателей работы колонны с УЗ воздействием поз. 202/1 с показателями работы колонны без УЗ воздействия поз. 202/3. В соответствии с утвержденной программой проведения испытаний для колонны с УЗ воздействием поз. 202/1 и колонны без УЗ воздействия поз. 202/3 были выбраны следующие точки опробования:

- отмытая насыщенная смола, поступающая на десорбцию;
- десорбирующий раствор;
- товарный десорбат;
- маточник донасыщения;
- смола, прошедшая десорбцию, выходящая из колонны СДК.

По результатам расчета были построены графики изменения массовой доли в товарном десорбате железа, кальция, диоксида кремния и фосфора, которые представлены на рисунках:



Как видно из приведенных таблиц и графиков - применение ультразвукового воздействия позволило снизить среднее содержание массовой доли железа в товарном десорбате на 77,1% и фосфора на 46,6%. При этом, содержание урана в товарном десорбате увеличилось, в среднем, на 21,7%.

Для оценки эффективности процесса десорбции, проходящего с использованием ультразвукового воздействия и без него, были рассчитаны проценты извлечения в ТД урана, железа, фосфора и диоксида кремния. Результаты расчетов приведены в таблице:

Дата	Извлечение в ТД, %					
	U		Feобщ.		SiO_2	
	поз. 202/1	поз. 202/3	поз. 202/1	поз. 202/3	поз. 202/1	поз. 202/3
01.09.2016	67,49	81,25	0,021	8,006	0,02	0,17
02.09.2016	81,94	74,96	0,034	0,440	0,16	0,19
03.09.2016	71,70	57,14	0,457	2,001	0,20	0,11
04.09.2016	66,04	41,95	8,014	2,216	0,17	0,33
05.09.2016	81,04	77,19	0,554	2,400	0,10	0,07
06.09.2016	92,01	91,37	2,333	2,865	0,00	0,08

Как видно из представленных в таблице 4.8 данных – применение ультразвукового воздействия на процесс десорбции позволяет повысить процент извлечения в товарный десорбат урана в среднем на 8,6% и при этом снизить извлечение в него железа на 36,3% и диоксида кремния на 31,6%. При проведении лабораторных исследований использования УЗ воздействия на процесс десорбции было снижение на 25÷30% расхода аммиачной селитры.

Результаты анализов анионита на механическую прочность, предоставленные Северной испытательной лабораторией ТОО «ИВТ-Зерде», позволяют утверждать, что УЗ воздействие в течение 192 часов - не приводит к уменьшению механической прочности смолы. Полученные в результате опытно-промышленных испытаний применения УЗ воздействия на процесс десорбции данные - позволяют сделать вывод о целесообразности его применения для повышения качества получаемых десорбатов.

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ХВОСТОВОЙ ОТМЫВКИ

Дополнительно, сверх программы проведения промышленных испытаний технологии ультразвукового воздействия на процессы отмывки и десорбции, в ЦППР рудника «Харасан-2» были проведены испытания на колонне хвостовой отмывки, поз. 203/1.

В колонне хвостовой отмывки проводится технологическая операция отмывки регенерированной смолы, непосредственно перед её подачей на сорбцию. Операция отмывки регенерированного анионита преследует целью очистку смолы от примесей и остатков серной кислоты с поверхности зёрен, после чего отмытый регенерированный анионит направляется на сорбционный передел, а кислота с оборотными растворами возвращается в процесс денитрации - за счет этого достигается снижение количества потребляемой серной кислоты в ЦППР.

Согласно схеме установки УЗ излучателей на колонну ХО, ультразвуковые излучатели были установлены на колонну отмывки после денитрации КИ-2000 поз. 203/1.

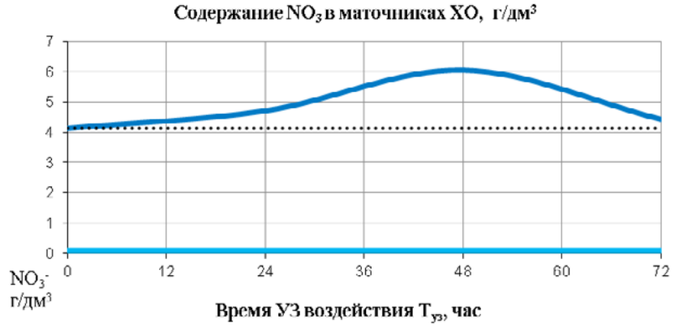
Оценка влияния воздействия ультразвуковых колебаний на процесс отмывки анионита

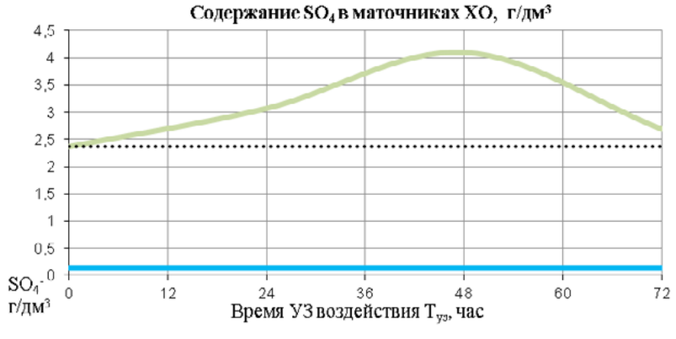
после денитрации осуществлялась путем сравнения показателей работы колонны поз. 203/1 в период её обработки ультразвуком и без УЗ воздействия.

В соответствии с утвержденной программой проведения испытаний для колонны КИ-2000 поз. 203/1 были выбраны следующие точки опробования:

- маточники хвостовой отмывки;
- техническая вода.

Опробование процесса отмывки анионита после денитрации осуществлялось следующим образом - возле каждой точки пробоотбора устанавливалась накопительная емкость для среднесуточной накопительной пробы «С.Н.П.», объемом не менее 10 дм^3. Разовая проба каждого раствора отбиралась по 0,25 дм^3 мерным лабораторным стаканом один раз в час в накопительную емкость. В течение суток готовилась одна среднесменная накопительная проба каждого вида. Проба запечатывалась, маркировалась и затем все пробы были отправлены в лабораторию ТОО «ИВТ-Зерде» для проведения анализов на определение массовых концентраций нитрат-ионов, сульфат-ионов, фосфора и железа.





Зависимость массовой концентрации NO_3 в маточниках хвостовой отмывки от времени обработки ультразвуком на КИ-2000 поз. 203/1 в сравнении с содержанием NO_3 в подаваемой на отмывку технической воде.

Зависимость массовой концентрации SO_4 в маточниках хвостовой отмывки от времени обработки ультразвуком на КИ-2000 поз. 203/1 в сравнении с содержанием SO_4 в подаваемой на отмывку технической воде.

Применение ультразвукового воздействия на процесс хвостовой отмывки позволило повысить в 1,5 раза массовую концентрацию нитратов в маточниках хвостовой отмывки с 4,13 г/дм^3 до 6,05 г/дм^3 за 48 ч обработки ультразвуком, а также повысить в 1,73 раза массовую концентрацию сульфатов в МХО с 2,37 г/дм^3 до 4,10 г/дм^3 за те же 48 ч.

ВЫВОД

Проведенные испытания новой технологии ультразвукового воздействия на процессы отмывки и десорбции позволили определить влияние обработки ультразвуком на качество получаемых десорбатов и изменение их эффективности.

1. Было доказано, что при проведении УЗ воздействия на процесс головной отмывки насыщенной смолы перед десорбцией позволило снизить содержание на отмытой смоле железа на 10,9%, кальция на 1,1%, и фосфора на 5,4%. При этом было снижено на 17% содержание кремния на отмытой смоле. Общее суммарное снижение содержания примесей на отмытой смоле за счет применения УЗ воздействия на процесс головной отмывки позволит получать товарный десорбат с более низким содержанием этих примесей.
2. Проведенные испытания ультразвукового воздействия на процесс десорбции позволили получить более богатый на 21,7% по урану товарный десорбат. При этом содержание примесей в товарном десорбате относительно урана было снижено по железу на 77,1%, а по фосфору на 46,6%.
3. Применение ультразвукового воздействия на процесс хвостовой отмывки позволило повысить в 1,5 раза массовую концентрацию нитратов в маточниках хвостовой отмывки за 48 ч обработки ультразвуком, а также повысить в 1,73 раза массовую концентрацию сульфатов в МХО за те же 48 ч по сранению с содержанием этих примесей в МХО без обработки ультразвуком на этой же колонне.

Таким образом, в результате испытания проводимые в рамках договора №111 от 17.03.2016 г, позволяют сделать вывод о целесообразности применения УЗ воздействия для повышения качества получаемых десорбатов и снижения количества подаваемых на десорбцию нитратов, что в свою очередь приведет к снижению производственной себестоимости, за счет снижение хим. рагентов.

NI MYRIO НЕГІЗІНДЕ АППАРАТТЫ-БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕНІМЕН ӨҰИС РАДИАЦИЯЛЫҚ ТӨЗІМДІЛІГІН СЫНАУ

Омар Қ.М.
«Байланыс-ҰАК» ЖШС, Алматы, Қазақстан

Жумыс аппаратты-бағдарламалық кешенді (АБК) әзірлеу және сынақтан өткізуге арналған, ең төменгі және жеткілікті жиынтығы параметрлерінің сипаттамаларын функционалдық және параметрлік бақылау функционалдық-күрделі бағдарламалық-басқарылатын өте үлкен интегралды схемаларды (ӨҰИС) микропроцессорлар (МП) мен микроконтроллерлер (МК) арналған микросхемалардың радиациялық әсеріне төзімділігі иондаушы сәулердің асерин зерттеу үшін сынақжургизу.

Мақалада автоматтандырылған жүйесі функционалдық және параметрлік бақылау МК Atmaga 644-20AU негізделген модулінде NI MYRIO және бағдарламалық қамтамасыз ету LabVIEW-де жургізіледі. Келтірілген жалпы түрі АБК және зерттеу нәтижесі радиациялық төзімділігі МК анықталган.

Түйін сөздер: NI MyRIO-1900, АБК, ӨҰИС, радиациялық төзімділік, МК, төмен қарқындылықты саулелер.

МІНДЕТТЕР ҚОЮ

Құрамында қазіргі заманғы электрондық аппаратура кеңінен қолданылады ӨҰИС МК және МП, олар функциясын орындайды, деректерді жинау және өңдеудің жай-күйін бақылау басқарылатын объектілердің және қажетті басқарушы сигналдар. Бірқатар пайдалануы жоғары деңгейдегі радиацияда бұл аппаратура жұмыс істеуі кажет. Бұл электрондық жабдықтарына, атом электр станцияларында, бірқатар физикалық эксперименттерді жүргізу үшін, әскери мақсаттағы электрондық аппаратурада.

Параметрлерін анықтайтын әсеріне төзімділігі иондаушы сәуле, әдетте көрсетілмейді, оның ішінде олардың техникалық сипаттамалары өзекті болып табылады. Арнайы сынақтар осы микросхемалар қажетті деңгейдегі төзімділігін анықтайды.

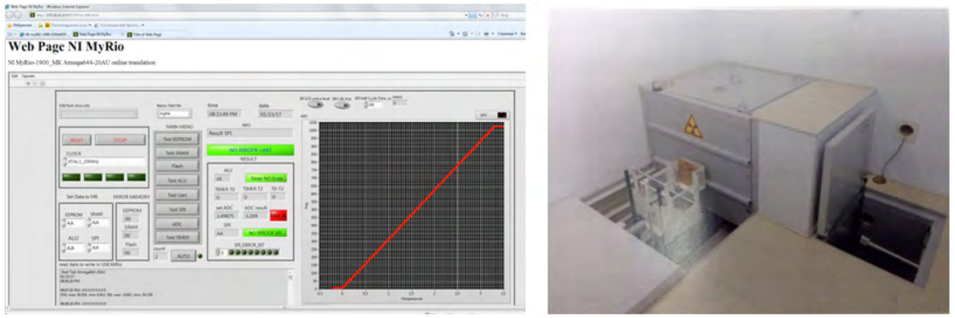
Радиациялық сынау электрондық компоненттік базаны (ЭКБ) – интегралдық схемалар (ИС) талап етеді іске асыру рәсімдерін сәулелену дозиметрлік сүйемелдеу сынау параметрлерін өлшеу-өлшемдердің жұмыс қабілеттілігін бұйымдарды сынау кезінде және нәтижелерін өңдеу.

Осыған байланысты, дамыту әдістері мен әзірлеу аппараттық-бағдарламалық құралдары қамтамасыз ететін жеткілікті толықтығы функционалдық тестілеу және мүмкіндігін анықтау істен шығу үшін барлық негізгі функционалдық блоктардың құрамына кіретін тестилеуден откизу керек. Негізгі талап АБК үшін мүмкіндігі болып табылады уделенной ақпаратты өңдеу пайдалана отырып, қазіргі заманғы Web технологиялар.

ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЖАБДЫҚТАР МЕН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

АБК толығымен салынды платформасында NI MyRIO өнеркәсіптік технологиялар базасында салынған. NI MyRIO базасында құрылып, екі ядерлық ARM Cortex-A9 процессорын және ПЛИС с 28 000 бағдарламалық логикалық ұяшықтарынан тұрады.

Бағдарламалық құрамдас кешені әзірленген ортасында графикалық тестілеу жүйесін, басқару және бағдарламалау жапсарлас жүйелердің моделдеуі, LabVIEW-де орындалған. Бағдарлама автомат принципі ақырғы бойынша құрылған. Модуль құрамында блок негізгі МӘЗІР іске асырылды автоматты түрде тестілеу МК барлық блоктарының, блок жазу туралы ақпаратты қателер зерттеулерді жүргізу кезінде МК радиациялық тұрақтылығын файлдарға жазады. Микропроцессордың радиациялық сынау НОЦ «ТӨЗІМДІЛІК», аттестатталған изотоптық орнату «Гамма- панорама МИФИ» сынақ орталығында жүргізілді. Сыналатын үлгі 8-биттік микроконтроллер кеңейтілген RISC сәулетімен Atmega644-20AU фирма Atmel.



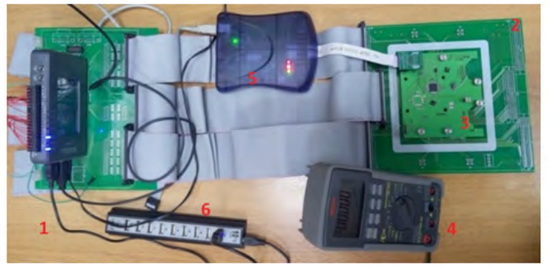
Сур.1. Сыртқы түрі беткі панельдер виртуалды аспаптың Web браузер бетінде және изотоптық қурылғы «Гамма-панорама МИФИ»

Бағдарламалық қамтамасыз ету (БҚ) МП ӨҰИС және жастар саясаты бөлімі ескере отырып әзірленеді. Әдістемесі, өз кезегінде анықталады, түрі, деңгейі және сипаттамалары радиациялық әсер ету, сондай-ақ құрылымдық-сәулет құрамы МК. Бағдарламалық код үшін МК компания Atmel AVR Studio бағдарламасында жазылған. Бағдарламалау МК жүзеге асырылды әмбебап Atmel AVR JTAGICE mkII программаторомен әзірленген компания.

ШЕШІМДІ СИПАТТАУ

АБК NI MyRIO базасында салынды зерттеу жүргізу үшін МК радиациялық төзімділігі. Әзірленген баспа төлемақы орнату үшін NI MyRIO, төлем төменгі деңгейдегі қызметте, ақпаратпен алмасу үшін NI MyRIO және сыналушыларға үлгісі, сондай-ақ қызметші байланыс үшін қуат көзінен сыналушыларға үлгісі мен ақы төлеу жоғары деңгейдегі распайки тікелей сыналатын үлгінің.

Әзірленген АБК МК-Atmega644-20AU толығымен жөнге келтірілген. Зерттеу жүргізу үшін радиациялық төзімділігі МК әзірленген АБК-нің барлық функционалды мүмкіндіктері бар.



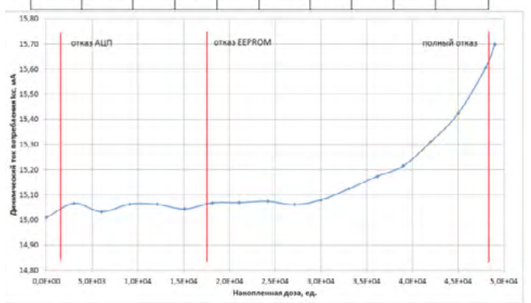
Сур.2. NI MyRIO базасында МК Atmega644-20AU үшін АБК

АБК тұрады: 1. Төлем MyRIO қамтамасыз ететін біріктіру тұжырымдар аспаптың арқылы шлейф зерттеліп отырған радиациялық төзімділігі үлгілері бар. 2. Әмбебап төлем төменгі деңгей үшін пайдаланылады коммутация желілері деректер зерттелетін микросхемалар мен арналарды енгізу/шығару жүйесінің NI MyRIO, сондай-ақ қамтамасыз ету үшін тамақтану. 3. Плата жоғарғы деңгейіне арналған тікелей монтаждау сыналатын ИС. 4. МК ток тұтыну бақылау үшін мультиметр. 5. Программатора. 6. USB-хаб, MyRIO- ға сыртқы USB жадын деректерді сақтау үшін және қосылыстар мультиметр орнату үшін.

СЫНАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Толық функционалдық бақылыудың іштен шығу уақыты-3 сағат 35 минут. Нақты әсер етуі мүмкін айтарлықтай әр түрлі болуы өткізілетін әсерін эксперименттік ионизационных сәулелену, ал кейбір жағдайларда физикалық табиғаты мүлдем басқа болуы мүмкін. Нәтижелері бойынша дозиметрия есептелген дозасының қуаты 4,8 рад/с. Сур.3 ұсынылған кестесі тозу динамикалық МК ток тұтыну жиналған дозасы және қателер саны бекітілген уақытта зерттеу жүргізу кестесі корсетилген.

Время, с	Набранная доза, рад	FLASH	ALU	SRAM	ADC	TIMER	SPI	UART	EEPROM
12599	60475	0	0	0	71299	0	0	0	370



Сур. 3. МК динамикалық ток тұтыну жиналған дозасы және кесте саны тіркелген қателер, орындау кезінде сынау тәуелділігі

ҚОРЫТЫНДЫ

Құрылған АБК қойылған талаптарды қанағаттандырады, сондай-ақ аса жоғары деңгейіне ие икемділік, негізінен, қолдану арқасында MyRIO және ортаның визуалды программалау LabVIEW.

Қорытынды сынақ әзірленген АБК-ның радиациялық төзімділігі дәлелдейді, жұмыс қабілеттілігі. Бұл АБК одан әрі пайдаланылуы мүмкін сынақтар төмен қарқындылығы. Сынаулар үдерісінде анықталған неғұрлым сезімтал функционалдық блоктар МК Atmega644-20AU әсеріне ІЛІКТІ. Олар ADC және EEPROM болып табылады.

Әзірленген бағдарламалық коды тестілеу үшін барлық негізгі модульдер МК: ADC, таймер санауыш, тексеру ALU және жарамдылығы негізгі интерфейстер. Зерттеу жүргізу үшін радиациялық төзімділігі микроконтроллерлердің әзірленген АБК-нің барлық функционалды мүмкіндіктері.

Негізгі кемшіліктеріне мыналарды жатқызуға болады: болмауы кірістірілген қоректену амперметр, кіші ADC разрядтылығы және шағын шығу қуаты (ең жоғары шығу қуаты MyRIO кезінде 5В 100 мА). Артықшылығына жатады кірістірілген акселерометр, кірістірілген Wi-Fi модулі, шағын мөлшері және орнатылған блоктар аппараттық деңгейде интерфейстердің UART, SPI және I2C.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ***Калашников О.А.*** Методы исследования и проектирования цифровой электронной аппаратуры, функционирующей в условиях воздействия низкоинтенсивного ионизирующего излучения. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Москва, 1994
2. ***Лебедев А.В.*** Методы и аппаратно-программные средства функционального тестирования СБИС микроконтроллеров при проведении радиационных испытаний на дозовые воздействия. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Москва, 2009.
3. ***Чумаков А.И.*** Радиационная стойкость изделий ЭКБ. Москва, НИЯУ МИФИ 2015 с. 490.
4. ***Бобровский Д.В., Волин В.С., Калашников О.А., Некрасов П.В.*** Радиационная стойкость микропроцессоров семейства «МЦСТ-R». Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук.Москва, 2010.

«ИІРКӨЛ» КЕНОРНЫНДА ҚАЙТАРМА ЕРІТІНДІЛЕРДІ ФЛОКУЛЯНТ КӨМЕГІМЕН ӨҢДЕУ

[1]Алтынбек А.Д., [1]Батиев Р. А., [2]Кадирбеков К.А.
[1]«Семізбай-U» ЖШС, Астана, Қазақстан
[2]«Қазатомөнеркәсіп Сорбент» ЖШС, Алматы, Қазақстан

Аннотация. Уран өндірісінде қайтарма ерітінділерді өңдеу, тазарту бағыттарына және олардың өндірісте қолданылу деңгейі жөнінде қысқаша мәліметтер берілген. Қайтарма ерітінділердегі қатты жүзінділерді шөгіндіге айналдыру үшін флокулянттарды қолдану тәжирибиесі туралы айтылған. Қайтарма ерітінділердің сапасын жақсарту үшін химиялық және физикалық, механикалық әдістерді ұштастыру мүмкіндіктері мен технологиясын әзірлеу туралы тұжырымдар мен ұсыныстар берілген.

Уран өндіру саласындағы, оның ішінде ұңғымамен жерасты шаймалау (ҰЖШ) үдерісіндегі көпжылдық тәжірибеде оңтайлы шешімін таппаған мәселенің бірі болып, технологиялық ерітінділерді (өнімді, туынды, шаймалаушы, қайтарма) тазарту саналады. Оның ішіндегі Өнімді ерітіндіні қайта өңдеу цехында түзілетін қайтарма ерітінділердің (ҚЕ) құрамындағы қатты шөгінділерді толығымен не болмаса барынша толығымен тазартуқазіргі таңдағы аса өзекті мәселенің бірі болып табылады.

Осы уақытқа дейін ерітінділердің құрамындағы қатты шөгінділерді тазарту, яғни оның сапасын жақсарту бағытында физикалық, механикалық, химиялық әдістер мен технологияларды іздеу, зерттеу жұмыстары жүргендігі мәлім. Солай дегенмен, арнайы сүзгілер, сүзгіштік қасиеті жоғары материалдар мен қондырғыларды қолдану тарапындағы жұмыстар әзірге оң шешімін таппады деп айтуға болады. Атап айтсақ, сала бойынша уақытында бірнеше кәсіпорында орнатылған Хьюдак компаниясының өздігінен автоматты түрде тазаратын RF-3, RF-6 сериялы өнімділігі 50 м^3/сағ, 1 000 м^3/сағ, 2 000 м^3/сағ болатын сүзгілері іс жүзінде жұмыс істемеуде. «Жеңді фильтр» деп аталатын тығыздығы әртүрлі матадан жасалынған сүзгі материалдар ұңғыма не блоктарда тек қана жекелеген кәсіпорындар деңгейінде өте аз мөлшерде қолданылып, не болмаса қолдану мүмкіндігі зерттеліп келді. Аталған материалдар мен қондырғылардың жеткіліксіз дәрежедегі өнімділігі, жасау және өндірісте ұдайы пайдалану бағасының қымбаттығы экономикалық тұрғыдан оларды қолдану тиімсіз екендігін көрсетіп, кең көлемде қолданысқа ие бола алмады.

Химиялық жолмен ерітінділерді тазарту жұмыстары осы ерітіндінің орта қасиетін, атап айтқанда қышқылдығын өзгертіп, қышқыл ортаны сілтілі ортаға айналдыра отырып, оның құрамындағы қатты жүзінділерді айыру үшін шөгінді түзу үдерісіне негізделген. Мұндағы негізгі кемшілік, қолданылатын химиялық реагенттердің пайдалану шығындарының ерітінді ортасының қышқылдан сілті, одан қайтара қышқылға ауысу үдерісіне байланысты артық жұмсалуы және бұл экономикалық тұрғыдан тиімсіз болуына орай өндіріске енгізу мүмкін болмады деп айтуға болады.

Уран өнеркәсібінде, оның ішінде Өнімді ерітіндіні қайта өңдеу цехындағы технологиялық үдерістер барысында пайда болатын ҚЕ құрамына қатты жүзінділер – табиғи минерал түйіршектері мен коллоидты ерітінділерден тұратын дисперсиялық жүйелер кіреді. Ластаушы түйіршіктер құрамының 90%-дан астамының өлшемі 50 мкм болып та-

былады. ҚЕ құрамындағы коллоидты жүйелердің белсенді тобы ретінде поликремнийлік қышқылын атауға болады.

Бұл жұмыста ҚЕ-ні тазарту үшін сүзгі қондырғылары мен материалдарды қолдану, оның құрамындағы коллоидты жүйелерді, әсірісе, поликремний қышқылының беттік иондау қабілетін жойып, электрлі бейтарап күйге түсіруді іске асыра жүргізуді флокуляция үдерісі арқылы іске асыру қарастырылған. Флокулянттар ретінде синтетикалық органикалық полимерлер (полиакриламид негізінде) ұсынылып отыр. Оның себебі – олардың жоғары флокуляциялық мүмкіндіктерінде, қолжетімділігінде, салыстырмалы түрде арзандығында және аз уыттылығында. Одан бөлек, полиакриламидті флокулянттардың флокуляциялық әрекетінің заңдылықтарын модельдік және өнеркәсіптік дисперсиялы жүйелерде қолданудың жан–жақты зерттелуімен де байланысты.

«Семізбай-U» ЖШС 2016-2017 жылдар аралығында «Қазатомөнеркәсіп Сорбент» ЖШС-мен бірлесіп «Иіркөл» уран кенорнында қайтарма ерітінділердің құрамын зерттеу және оларды флокулянттар көмегімен тазарту және сүзгілеу технологиясын әзірлеу бағытында ғылыми-зерттеу жұмыстарын 2 кезеңде жүргізді.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарының зертханалық 1-кезеңінде ҚЕ-сінің және қатты жүзінділердің химиялық, элементтік құрамы, түйіршік құрамы анықталды. Осы кезеңде Chinaflok, Магнафлок, Суперфлок, Праестол флокулянттарының ҚЕ-нің құрамындағы қатты жүзінділермен өзара әрекеті, шығын мөлшері, тиімді концентрациялары, флокулалар түзілу үдерістері, флокулянттарды ҚЕ-мен араластыру жылдамдығы және т.б. маңызды мәліметтер жинақталды.

«Иіркөл» кенорнының Өнімді ерітінділерді қайта өңдеу цехында тәулігіне 600 м^3-ге дейін ҚЕ пайда болып, ол технологиялық үдерісте айналымда жүреді. ҚЕ құрамындағы қатты жүзінділердің концентрациясы орта есеппен 137 мг/л құрайды, яки массасы бойынша тәулігіне 82 кг, ал жылына 29 тонна шөгінді түзіледі. Бір жылдық айналымда жүретін 14 400 000 м^3 шаймалау ерітіндісіндегі қатты жүзінділердің концентрациясы орта есеппен 24 мг/л құрағанда, оның массасы жылына 345 тонна болады. Сонымен, ҚЕ құрамындағы қатты жүзінділер бір жылдық айналымда жүрген қатты жүзінділердің 8%-ын құрайды, ал ерітінділер қатынасы бойынша ҚЕ-лер шаймалау ерітінділердің 0,015%-ын ғана құрайды.

Chinaflok, Праестол флокулянттары кремний, магний, кальций, алюминий, темірді ҚЕ құрамынан едәуір шамада айырып, оларды шөгіндіге айналдыру барысында жақсы нәтижелер берді.

Ғылыми жұмыстардың 2-кезеңінде, іріктеп алынған Chinaflok, Праестол флокулянттарын сынау жүргізілді. «Иіркөл» кенорнындағы Өнімді ерітінділерді қайта өңдеу цехында RF-6 және РЗМ-80 типті сүзгілерінің жеке сүзу элементтерін қолдана отырып дайындаған модульдер де сыналды. Сынақ аясында флокулянттардың ҚЕ құрамындағы қатты шөгінділермен өзара әрекеттесуі, флокулянттардың тиімді шығын мөлшерін анықтау, сүзгілердің және сүзгі элементтерінің жаңа түзілген ортамен өзара әрекеттесуі сияқты маңызды жұмыстар жүргізіліп, нақты технологиялық параметрлер анықталды.

Нәтижесінде, уранды қайта өңдеудегі технологиялық үдерістер барысында түзілетін қышқыл ҚЕ-лерді полиакриламидті флокулянттар көмегімен тазарту мүмкіндігі

дәлелденді. ҚЕ-лер құрамындағы қатты жүзіндінің флокулянттармен әрекеттесіп шөгінді түзу үдерісіндегі түйіршіктердің формасы мен өлшемі флокулянттардың мөлшеріне баланыстылығы анықталды. Флокуляция үдерісінің тиімділігінің флокулянт пен ҚЕ-ні араластыруда гидродинамикалық өңдеу қарқынына байланыстылығы анықталды. Флокулянттардың тиімді концентрациясы ҚЕ құрамындағы элементтерді айыру дәрежесіне байланыстылығы анықталды. ҚЕ-ні флокулянттардың тиімді концентрациямен өңдегенде ҚЕ құрамындағы қатты жүзінділерді зертханалық талдау нәтижелеріне қарағанда 150%-ға артық шөгінді түрінде түзетіні дәлелденді.

ҚЕ-ні флокулянттармен өңдемей, өздігінен автоматты түрде тазалатын сүзгіден, лавсан маталы материалдан өткізгенде қатты жүзінділер құрамындағы коллоидттардың кері әсерінен сүзу үдерісінің баяулайтыны анықталды. ҚЕ-ні флокулянттармен өңдегенде түзілген шөгінділер тотықпайтын тор, шпальт кассетасы, лавсан материалында сүзіліп, тазартылған ҚЕ-ден қатты жүзінділерді толығымен дерлік тазарту мүмкіндігі дәлелденді. ҚЕ-ні флокулянттармен өңдегенде RF-6 типті өздігінен автоматты түрде тазалатын сүзгісін, РЗМ-80 типті рамалық жабық сүзгісін пайдалану тәжірибелік-өндірістік сынақтар нәтижесінде әзірленетін технология бойынша ғылыми түрде негіздеу ұсынылды.

Қорыта айтқанда, қайтарма, шаймалау және өнімді ерітінділерді флокулянттармен толығымен өңдеу мен тазарту технологиясын өндіріске түбегейлі енгізгенде әрбір кенорнында уран қазудағы өнімнің өзіндік құны төмендеп және ұңғымаларды жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары толығымен қажеттіліктен шығып, пайдалы өнімді қайта өңдеу үдерістерінің (сорбция, десорбция, регенерация, денитрация, иониттерді жуу, т.с.с.) өнімділігі бірнеше есе артып, нәтижесінде бірнеше жүздеген миллион теңге шамасында пайда беретін экономикалық тиімділікке қол жететінін бағамдауға болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. М.: Стройиздат, 1984. 202 с.
2. ***Айлер Дж.*** Химия кремнезема. Т.1. М.:Мир. 1966, 428 с.
3. ***Кемельбаева А.С., Дуйсебаев Б.О., Сайкиева С.Х., Алыбаев Ж.А.*** Метод очистки урансодержащих растворов от кремниевой кислоты/ Известия НАН РК. Серия Химическая, 2010, №5. С.65-68.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОЗДАНИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЭКСТРАКЦИОННЫХ СИСТЕМ

[1]Егоров А.В., [1]Егорова Т.Б., [2]Дуйсебаев Б.О.
[1]МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2]АО «Волковгеология», Алматы, Казахстан

Известно, что действующая на сегодняшний день схема обогащения уранового сырья, включающая сорбционную переработку продуктивных растворов подземного выщелачивания, обладает рядом недостатков, главными из которых являются большое количество аппаратов и узлов, а также высокое гидравлическое сопротивление внутри сорбционных колонн, приводящее к низкой производительности ввиду малых скоростей течения и потере ионита из-за механического воздействия.

Целью данной работы являлась оценка принципиальной возможности перехода к новой высокоэффективной схеме концентрирования, основанной на процессах экстракции в тонких пленках экстрагента, нанесенных на трубчатую полимерную матрицу, в горизонтальном токе раствора.

Экстракционные методы извлечения, разделения и концентрирования обладают следующими достоинствами [1]:

— простота конструкции аппаратов с непрерывностью процессов;
— высокая чистота конечных продуктов за счет высокой селективности экстрагентов или многоступенчатого разделения;
— возможность успешно перерабатывать бедные исходные материалы за счет высокого извлечения ценных компонентов (до 99%);
— протекание процессов при нормальных условиях.

Предложенные модели носителей представляют собой цилиндрическую полимерную матрицу параллельных каналов определенной конфигурации, стенки которых равномерно покрыты тонким слоем экстрагента. На Рис. 1 представлены примеры трехмерных визуализаций «кассет» трубчатых носителей для разных конфигураций в поперечном разрезе. Лабораторные прототипы таких моделей могут быть относительно легко изготовлены с помощью 3D-печати. Использование трубчатых носителей позволит уменьшить гидродинамическое сопротивление, и таким образом повысить производительность системы. Подбор экстрагентов, способных к нековалентному связыванию с матрицей носителя, позволит повысить селективность системы по отношению к определенному катиону.

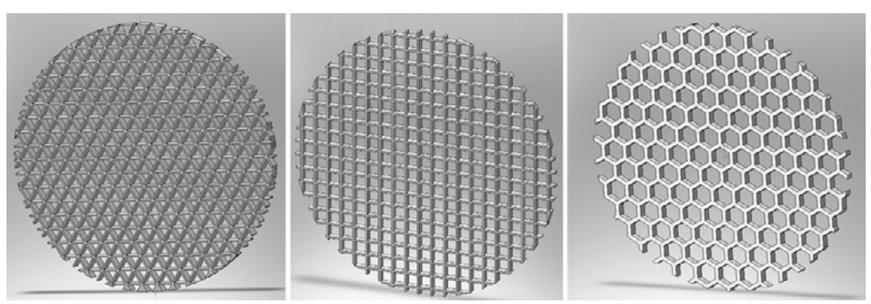


Рис. 1. Трехмерные модели (а – «треугольники, б – «квадраты», в – «соты»)

Для расчетов рассматривались модели с конфигурацией каналов, позволяющей непрерывно заполнить пространство: равносторонние треугольники, квадраты и равносторонние шестиугольники (соты).

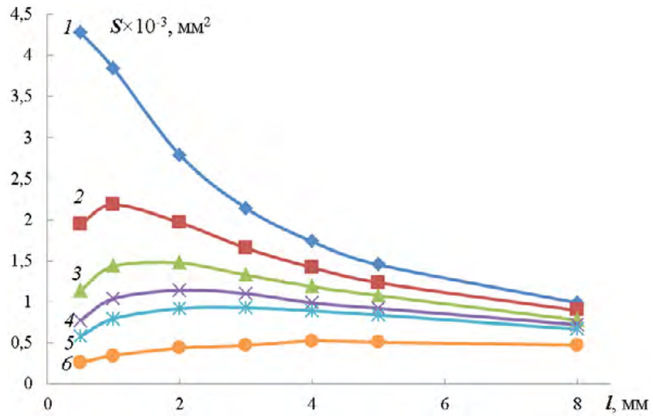


Рис. 2. Зависимость абсолютной площади поверхности кассеты от размера канала для модели «треугольники».
1. h = 0.3 мм; 2. h = 0.6 мм; 3. h = 0.9 мм; 4. h = 1.2 мм; 5. h = 1.5 мм; 6. h = 3 мм при L = 1 мм; D = 40 мм.

Поскольку основным параметром, оказывающим непосредственное влияние на эффективность извлечения, является площадь поверхности, в данной работе с использованием программного комплекса Solidworks было проведено моделирование, эмпирический расчет и анализ влияния линейных размеров каналов трубчатых экстракторов на величину их удельной поверхности для разных конфигураций. Также для оценки гидродинамических характеристик экстракторов различной конфигурации и сравнения с моделью «традиционных» промышленных сорбционных аппаратов с гранулированными ионитами, была проведена симуляция течения жидкости.

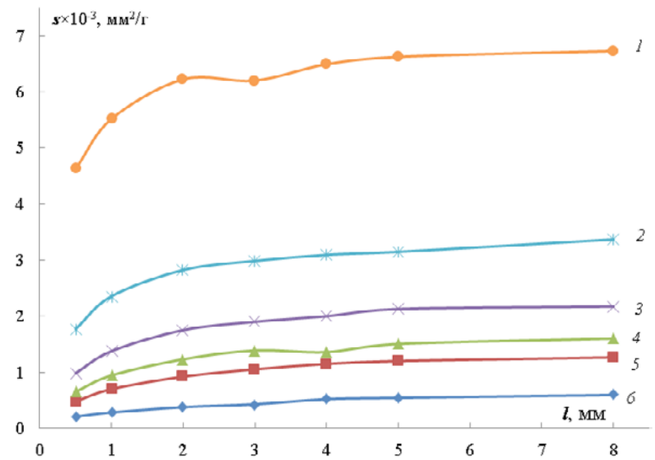


Рис. 3. Зависимость удельной поверхности кассеты от размера канала для модели «треугольники»
1. h = 0.3 мм; 2. h = 0.6 мм; 3. h = 0.9 мм; 4. h = 1.2 мм; 5. h = 1.5 мм; 6. h = 3 мм при L = 1 мм; D = 40 мм.

На Рис. 2 показаны зависимости абсолютной (геометрической) площади поверхности трубчатой кассеты *S* от линейного размера канала l (в данном случае – стороны треугольника) для модели «треугольники» для разных значений толщины стенки канала *h*. Такой же характер зависимости наблюдается и в случае квадратных и шестиугольных каналов.

Так как длина кассеты не оказывает влияние на величину удельной поверхности, для сокращения времени расчетов геометрических и массовых параметров значение длины кассеты *L* для всех моделей было задано равным 1 мм. Заданный диаметр кассет *D* = 40 мм. Плотность полимерного носителя была задана равной плотности АБС-пластика (1,02 г/см^3), так как этот материал наиболее часто применяется в 3D-печати методом послойного наплавления (FDM).

На Рис. 3 приведены зависимости удельной поверхности от размера канала для этих же моделей. Видно, что величина удельной поверхности слабо зависит от размера канала *l* и превосходит таковую для сорбционной модели из сферических зерен лишь при малых толщинах стенок каналов (*h* < 0,6 мм) для всех рассмотренных конфигураций. Для модели со сферическими зернами заданный диаметр зерна *d* = 1 мм. Пористость неподвижного ионита для сферических зерен колеблется в интервале 0,26-0,48 [2]. Здесь для расчетов пористость приняли равной 0,35. В этом случае расчетное значение удельной поверхности зерен с плотностью 1,02 г/см^3 для цилиндрической модели *s* = 5 875 мм^2/г. На Рис. 4 показана зависимость удельной поверхности от толщины стенки канала для разных значений *l* стороны поперечного сечения канала. Здесь так же очевидно, что при увеличении толщины стенки канала удельная поверхность экстрактора существенно снижается, и работать имеет смысл только при малых значения *h*.

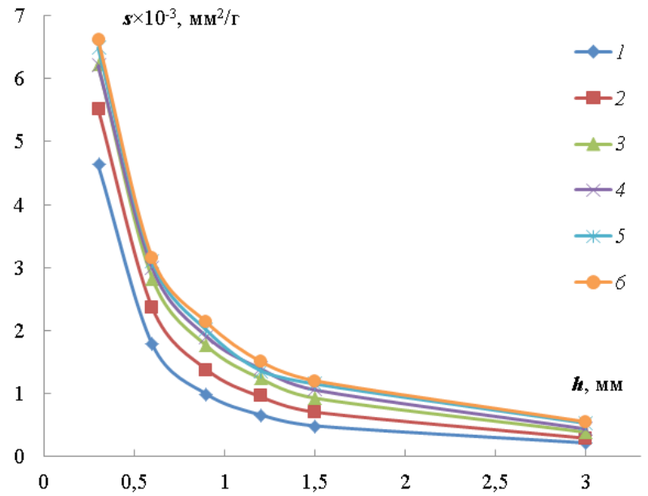


Рис. 4. Зависимости удельной поверхности кассеты от толщины стенки канала для модели «треугольники»
. 1. l = 0.5 мм; 2. l = 1 мм; 3. l = 2 мм; 4. l = 3 мм;
5. l = 4 мм; 6. l = 5 мм при L = 1 мм; D = 40 мм.

Однако более значимым параметром для данных систем является скорость потока, которая должна быть существенно выше, нежели в сорбционных колоннах со сферическим сорбентом.

Гидродинамические параметры рассчитывались с использованием программного модуля Flow simulation, в основе которого лежит решение уравнения Навье-Стокса, представляющего собой интерпретацию законов сохранения массы, импульса и энергии для потока жидкости, а также эмпирические зависимости плотности, вязкости и теплопроводности жидкости от температуры [3]. На Рис. 5 показан пример трехмерной визуализации распределения линейной скорости потока воды в модели «традиционной» сорбционной системы из сферических зерен диаметром 1 мм при следующих граничных условиях: давление на входе в трубу 1,2 атм, при выходе жидкость свободно изливается во внешнюю среду с 1 атм. Длина кассеты 100 мм, диаметр 40 мм. Модель была аппроксимирована как изотропно пористая среда с диаметром пор 155 мкм. По цветовой шкале видно, что максимальная скорость в системе составляет 0,618 м/с.

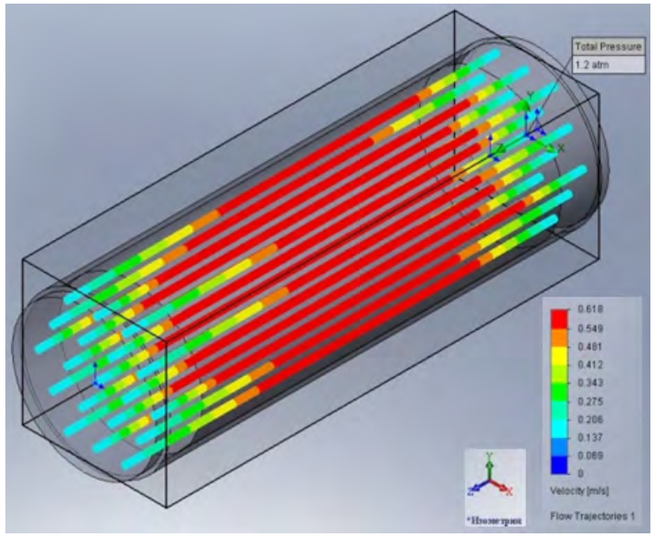


Рис. 5. Трехмерная визуализация распределения линейной скорости потока воды в модели «традиционной» сорбционной системы (L = 100 мм, D = 40 мм)

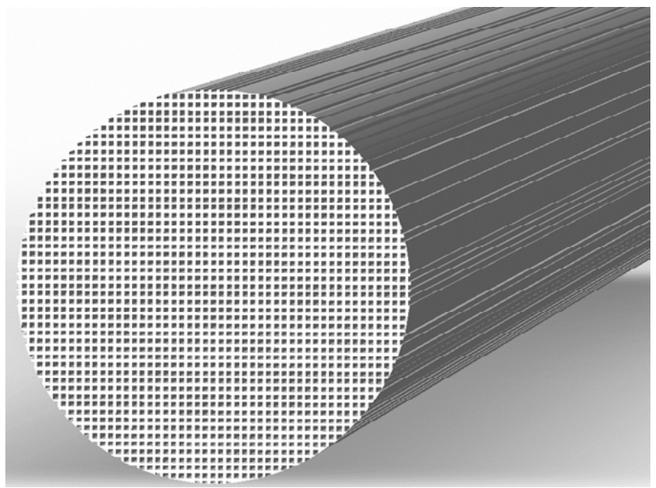


Рис. 6. Фрагмент трехмерной модели полимерной матрицы с квадратными каналами для моделирования потоков (L = 1000 мм, D = 40 мм, h = 0.3 мм, l = 0.5 мм)

На Рис. 6 показан фрагмент трехмерной модели с квадратными каналами, построенной для симуляции течения жидкости. В трубчатых моделях заданный размер стороны поперечного сечения канала l = 0.5 мм, толщина стенки каналов h = 0.3 мм для всех трех конфигураций.

Гидродинамические характеристики рассчитывались без учета тепловых эффектов с использованием следующих внешних параметров: заданное значение длины «кожуха» для кассет всех конфигураций и для пористой среды составляло 1 030 мм, длина кассеты L = 1 000 мм. Диаметр трубы D = 40 мм. Рабочая жидкость – вода. Давление на входе в трубу 2 атм. На выходе жидкость изливается во внешнюю среду с атмосферным давлением (1 атм).

Таблица 1. Гидродинамические параметры модельных экстракционных систем

Модель	Зерна	Треугольники	Квадраты	Соты
s, мм^2/г	5 900	4 400	5 100	5 700
V_{av}, м/с	0,048	0,090	2,547	7,33
V_{max}, м/с	0,077	0,172	2,807	7,42
Q_M, кг/с	0,023	0,006	3,154	9,09

Рассчитанные значения удельной поверхности, средних и максимальных значений линейных скоростей и массовых скоростей потока для рассмотренных моделей приведены в таблице 1. Из сравнения результатов видно, что рассмотренные модели кассетного типа с квадратной и гексагональной конфигурацией каналов по гидродинамическим характеристикам значительно превосходят модель сорбционной системы со сферическими зернами при сравнимых значениях удельной поверхности. Подбор экстрагентов и полимерных матриц позволит использовать данные системы для извлечения широкого круга ценных компонентов из растворов без применения органического разбавителя.

Рис. 7. Предполагаемый внешний вид экстракционной системы переработки продуктивных растворов ПВ

Возможность экстракции полезных ионов в горизонтальном потоке делает данные системы перспективными для усовершенствования процессов обогащения, перехода к более компактному оборудованию и снижения затрат на переработку продуктивных

растворов ПВ. На Рис. 7 представлен предполагаемый внешний вид новых усовершенствованных экстракционных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Гиндин Л.М.*** Экстракционные процессы и их применение. М.: Наука, 1984.
2. ***Тураев Н.С., Жерин И.И.*** Химия и технология урана: Учебное пособие для вузов. М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005.
3. ***Дюбанов А.В., Ошовский В.В.*** // Наукові праці ДонНТУ; Серія: Хімія і хімічна технологія, 2013. – Вип.2(21). – с.169–179.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УНИФИКАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К ИОНООБМЕННЫМ СМОЛАМ ЧЕРЕЗ ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ КСС АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» «ТРЕБОВАНИЯ К ИОНООБМЕННЫМ СМОЛАМ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

[1]Демехов Ю.В., [1]Тюлюбаев З.М., [2]Копбаева М.П., [2]Ташута Г.Н., [2]Близнюк В.И., [2]Кемельбаева А.С., [2]Сайдуллаева С.А., [1]Есемханов Ч.Д.
[1]АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан
[2]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

От выбора сорбентов для извлечения урана из продуктивных растворов в значительной степени зависят производительность и экономические показатели уранодобывающих предприятий. В настоящее время производители ионитов предлагают для этих целей широкий выбор новых ионообменных материалов. Но если физико-химические свойства ионитов известных марок продолжительное время эксплуатирующихся на предприятиях АО НАК «Казатомпром», и изменение их свойств в процессе функционирования достаточно хорошо изучены, то о предлагаемых сорбентах новых марок этого сказать нельзя. В случае приобретения и ввода в эксплуатацию некачественных ионитов могут возникнуть проблемы необоснованного расхода сорбентов, сокращения срока функционирования смол и т.д. Претензии к недобросовестным поставщикам в этом случае должны быть подтверждены результатами исследовований физико-химических характеристик сорбентов при их приемке и в процессе эксплуатации, что до недавнего времени было сопряжено с рядом трудностей, таких как отсутствие в РК испытательных лабораторий, аккредитованных в области проведения входного контроля ионообменных смол; аттестованных методик выполнения измерений; единого документа, устанавливающего правила приемки, методы испытаний, порядок хранения ионообменных смол на уранодобывающих предприятиях АО НАК «Казатомпром». В связи с этим назрела необходимость разработки и внедрения нормативного документа, регламентрующего требования к качеству сорбентов на основе комплексной стандартизации физико-химических параметров ионитов, формирования системы показателей качества сорбентов в условиях эксплуатации, т.е. с максимальной унификацией как условий обращения с ионообменными смолами, так и основных параметров, контроль которых минимизирует риск приобретения некачественной продукции.

В качестве документа, регламентирующего правила приемки, транспортировки, хранения и методы испытаний анионитов разработан корпоративный стандарт СТ НАК 20-2017 «Требования к ионообменным смолам для предприятий АО «НАК «Казатомпром», включающий 10 разделов (область применения; нормативные ссылки; термины, определения и сокращения; общие положения; требования к маркировке, упаковке, транспортировке; требования к охране окружающей среды; правила приемки и хранения; отбор проб для входного контроля; входной контроль; методы входного контроля); информационный материал по сравнительным характеристикам физико-механических и технологических свойств ионообменных смол, прошедших тестирование на реальных технологических растворах; техническую спецификацию к тендерной документации на приобретение сорбента; методики технологического тестирования и аналитического контроля физико-химических параметров ионитов. Документ устанавливает последовательность организационных и технологических процедур в целях обеспечения качества приобретаемой продукции, что в свою очередь способствует эффективной и высокопроизводительной работе предприятий АО «НАК «Казатомпром».

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕТРАФТОРИДА УРАНА ИЗ РАСТВОРОВ РЕЭКСТРАКЦИИ

[1]Смирнов А.Л., [1]Рычков В.Н., [1]Скрипченко С.Ю., [1]Титова С.М., [2]Полянский А.И.
[1]ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
[2]АО «Чепецкий механический завод», Глазов, Россия

Тетрафторид урана является основным материалом, используемым для производства гексафторида урана, и поэтому к качеству его предъявляются высокие требования. Строго регламентируется химический и изотопный состав тетрафторида урана, немаловажное значение имеет гранулометрический состав, площадь удельной поверхности и насыпная плотность продукта [1,2]. Получение тетрафторида урана высокой степени чистоты достигается за счет использования ряда методов аффинажа при переработке концентратов урана, наиболее распространенным из которых является жидкостная экстракция. Данный метод включает в себя операцию растворения концентратов урана в азотной кислоте и последующую селективную экстракции урана с использованием трибутилфосфата (ТБФ). Для реэкстракции урана из насыщенной органической фазы обычно используют подкисленную воду или карбонатные растворы. В первом случае образуется раствор уранилнитрата, из которого затем выделяют уран в виде UO_3 за счет операций выпаривания и денитрации. Во втором случае в ходе реэкстракции уран осаждается в виде аммонийуранилтрикорбаната (АУТК). Независимо от получаемого продукта следующим этапом является его восстановительное прокаливание до UO_2. Диоксид урана затем используют для получения UF_4. Существует два основных промышленных метода получения тетрафторида урана. Первый основан на взаимодействии диоксида урана с газообразными фторирующими агентами при высоких температурах. Во втором способе диоксид урана растворяют смесью соляной и плавиковой кислот. Из полученного раствора затем осаждают тетрафторид урана в гидратированной форме добавлением избытка фтористоводородной кислоты. После промывки осадок тетрафторида урана высушивают и прокаливают до безводного продукта [1-4].

Недостатком данных схем является многостадийность получения тетрафторида урана, а также необходимость использования сложных и дорогостоящих операций, таких как восстановительное прокаливание, выпаривание и денитрация. Сокращение числа стадий может быть достигнуто за счет получения тетрафторида урана непосредственно из растворов после реэкстракции подкисленной водой два этапа, первым из которых является восстановление, вторым – осаждение. В настоящей работе исследована возможность применения электролиза для восстановления урана в реэкстрактах, а также изучены процессы осаждения тетрафторида урана из растворов после электрохимического восстановления. Свойства и характеристики осажденного тетрафторида урана были исследованы различными физико-химическими методами. Основной целью работы являлась оценка возможности получения продукта, отвечающего требованиям конверсионных заводов.

Электролиз проводили в двухкамерной фторопластовой ячейке с графитовыми электродами. Для разделения катодного и анодного пространства использовали полиэтиленовую мембрану. Процесс проводили при комнатной температуре и постоянном переме-

шивании. В работе использовали растворы, содержащие 0,34-0,42 М U(VI) и 0,3-0,4 М HNO_3, полученные путем реэкстракции из ТБФ подкисленной водой (0,05 М HNO_3). Насыщенная органическая фаза была подготовлена в соответствии с методикой, описанной в работе [5]. Азотнокислая среда является благоприятным условием для окисления четырехвалентного урана. В ряде работ показано, что фторид-ионы и гидразин могут стабилизировать уран(IV) в азотнокислых растворах [6-8]. Поэтому было исследовано влияние фторид-ионов и гидразина на стабилизацию четырехвалентного урана в растворе в ходе электролиза.

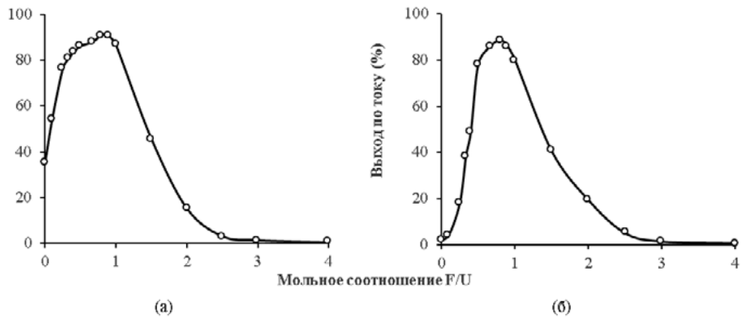


Рисунок 1. Влияние содержания фторид-ионов в растворе без (а) и с добавлением (б) гидразина ($N_2H_4/U = 0,25$) на выход по току

Согласно результатам исследований, для достижения высокой степени восстановления урана в реэкстрактах электролиз необходимо проводить при плотности тока 8-10 мА/см^2. При этом в отсутствие добавок стабилизирующих агентов выход по току составляет 30-35% (Рисунок 1а). Введение фторид-ионов в исходный раствор повышает эффективность процесса электролиза за счет образования фторидных комплексов четырехвалентного урана: UF^{3+}, UF_2^{2+} [6]. При мольном соотношении F/U = 0,5-1,0 выход по току составляет 86-91%. Дальнейшее увеличение содержания фторид-ионов в растворе приводит к осаждению урана в виде фторидных соединений: $UF_4 \times 2,5\ H_2O$, UOF_4, $NH_4U_3F_{13}$. При этом осадок покрывает поверхность катода, тем самым снижая эффективность электролиза (Рисунок 2).

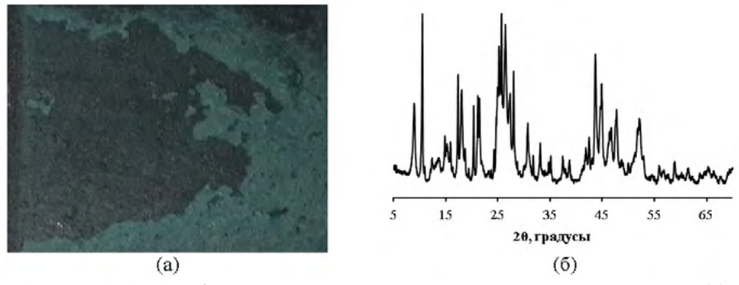


Рисунок 2. Осадок фторидных соединений урана на поверхности катода (а) и ретгенограмма данного осадка (б)

Результаты исследований показали, что добавление гидразина в раствор при мольном соотношении $N_2H_4/HNO_3 > 0,02$ приводит к полному подавлению восстановления азотной кислоты на катоде. Механизм восстановления азотной кислоты на графитовом электроде подробно описан в работе [8]. Одним из результатов реакции восстановления

HNO_3 является образование азотистой кислоты, что вызывает автокаталитическое разложение азотной кислоты. Этот процесс подавляется добавлением гидразина, который предотвращает накопление HNO_2 [8]:

$$N_2H_5^+ + HNO_2 \rightarrow NH_3 + 2\ H_2O + H^+ \quad (1)$$

$$NH_3 + HNO_2 \rightarrow N_2O + N_2 + 2\ H_2O \quad (2)$$

Введение гидразина в исходный раствор также предотвращает окисление четырехвалентного урана и разрушение анода. Последнее наблюдается в отсутствии гидразина вследствие окисления графита кислородом, выделяющимся на аноде в результате разложения воды. При добавлении гидразина в раствор этого не происходит, так как на аноде протекает реакция его окисления до элементарного азота.

Эффективность электрохимического восстановления урана в растворах зависит от кислотности среды. Это ограничивает использование гидразина, введение которого в раствор в результате его диссоциации приводит к нейтрализации кислоты и росту pH. При этом эффективность процесса электролиза резко снижается из-за изменения протекающих процессов восстановления (Рисунок 1б). В кислых растворах процесс электрохимического восстановления урана описывается следующим уравнением реакции:

$$UO_2^{2+} + 4\ H^+ + 2\ \bar{e} = U^{4+} + 2\ H_2O \quad (3)$$

В условиях низкой кислотности шестивалентный уран лишь частично восстанавливается до урана(IV). Процесс восстановления может быть представлен в виде следующих реакций:

$$UO^{2+} + \bar{e} = UO_2^+ \quad (4)$$

$$2\ UO_2^+ + 4\ H^+ = UO_2^{2+} + U^{4+} + 2\ H_2O \quad (5)$$

Кроме того, часть шестивалентного урана осаждается в виде полиуранатa аммония при pH выше 3. Результаты исследований показали, что влияние гидразина на восстановление урана уменьшается с ростом содержания плавиковой кислоты в растворе (Рисунок 1б). Эффективность тока составляет 78-89% при F/U = 0,8-1,0, что объясняется увеличением кислотности среды. Согласно результатам исследований, процесс электрохимического восстановления урана во фторсодержащих растворах (F/U > 0,5) необходимо вести при $N_2H_4/HNO_3 \leq 0,16$.

Растворы, полученные в ходе электролиза, использовали для исследования процессов осаждения тетрафторида урана. Тетрафторид урана осаждали путем медленного добавления избытка плавиковой кислоты в раствор при интенсивном перемешивании и температуре 20-90°С. Полученные осадки промывали теплой водой, обрабатывали спиртом, сушили на воздухе при комнатной температуре, а затем исследовали с применением различных физико-химических методов.

По результатам рентгенофазового анализа тетрафторид урана осаждается в гидратированных форме $UF_4 \times (0,75\text{-}2,5)\ H_2O$. При этом с ростом температуры количество гидратной воды в молекуле тетрафторида урана уменьшается (Таблица 1). Основной фазой

осадка, полученного при комнатной температуре, является ромбический кристаллогидрат $UF_4 \times 2{,}5\ H_2O$ (50-70%). При температуре 80-90°C осаждается главным образом кубический кристаллогидрат $UF_4 \times 0{,}75\ H_2O$ (70-80%). Согласно техническим требованиям, предъявляемым к тетрафториду урана на конверсионных заводах, плотность утряски продукта должна составлять 2,5-2,9 г/см^3. Форма кристаллов $UF_4 \times 2{,}5\ H_2O$ и неоднородность гранулометрического состава являются причинами низкой плотности утряски (0,7-0,9 г/см^3) тетрафторида урана, полученного при комнатной температуре[1]. Плотностью утряски продукта, осажденного из горячих растворов, составляет 2,6-2,8 г/см^3, что соответствует техническим требованиям.

Таблица 1. Влияние температуры на фазовый состав тетрафторида урана

Фаза	Количество (вес. %)	
	20-25°C	80-90°C
$UF_4 \times 2{,}5\ H_2O$	50-70	–
$UF_4 \times 2\ H_2O$	–	1-7
$UF_4 \times H_2O$	24-30	10-22
$UF_4 \times 0{,}75\ H_2O$	5-23	70-80

По содержанию примесных элементов, за исключением азота, полученный тетрафторид урана соответствует техническим требованиям, предъявляемым к данному продукту (Таблица 2). Высокое содержание азота связано с присутствием в исходных растворах азотной кислоты и гидразина, что привело к частичному осаждению четырех- и шестивалентного урана в виде $NH_4U_3F_{13}$ и $(NH_4)_2UO_2(NO_3)_4$. Основной вклад азота связан с $(NH_4)_2UO_2(NO_3)_4$, содержание которого в продукте составляет не более 5%. Содержание $NH_4U_3F_{13}$ в продукте составляет не более 2%. Согласно исследованиям, степень осаждение урана в виде $(NH_4)_2UO_2(NO_3)_4$ уменьшается по мере уменьшения содержания гидразина в растворе.

Таблица 2. Содержание примесей в тетрафториде урана (мкг/г U)

Примесь	Тетрафторид урана		
	Марка А	Марка Б	Опытный
Fe	100	400	20
SO_4^{2-}	500	1 000	240
K + Na	200	800	80
Ca	1 000	1 200	224
N	30	100	8 000
Cr	10	80	5,7
W	1	1	< 0,5
Mo	1,4	4	0,31
V	1,4	2	< 0,1
Si	50	50	21
P	50	80	3,5
B	0,3	0,3	< 0,1
Br	5	–	< 0,1
Sb	1	–	< 0,1
Nb	1	–	< 0,1
Cl	100	–	< 0,1
Ta	1	–	< 0,1

As	3	–	<0,1
Ti	1	–	<0,1
Ru	1	–	<0,1

Согласно результатам исследований, изотопный состав, содержание диоксида урана и уранилфторида, а также удельная площадь поверхности полученного тетрафторида урана соответствуют техническим требованиям, предъявляемым к данному продукту на конверсионных заводах (Таблица 3).

Таблица 3. Значения спецификации и характеристики полученного тетрафторида урана

Примесь	Тетрафторид урана		
	Марка А	Марка Б	Опытный
^{235}U/total-U (%)	0,711 ± 0,004	0,711 ± 0,004	0,714
^{234}U/total-U (%)	≤ 0,0058	–	0,0056
Содержание $UO_2F_2 + UO_2$ (%)	≤ 6,0	≤ 6,0	0,1-0,25
Удельная площадь поверхности (м^2/г)	≥ 0,10	≥ 0,10	0,3-0,4

Средний диаметр частиц полученного тетрафторида урана составляет 5-6 мкм. При этом наблюдается высокая скорость фильтрации и отстаивания для данного продукта. Содержание влаги в тетрафториде урана после фильтрации составляет 10-15%. Результаты гранулометрического анализа показали, что полученный продукт соответствует требованиям спецификации, согласно которым массовая доля частиц размером менее 500 мкм должна быть более 93%.

Таким образом, результаты исследований показали эффективность применения электролиза для восстановления урана в растворах реэкстракции в присутствии стабилизирующих агентов. Однако тетрафторид урана, осажденный из растворов после электровосстановления, не может быть использован для получения UF_6 из-за высокого содержания азота. Снижение содержания азота возможно за счет корректировки состава исходного раствора, а также подбора режимов сушки и прокалки тетрафторида урана до безводного продукта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Гагаринский Ю.В. и Хрипин Л.А.***, Тетрафторид урана. М.: Атомиздат. 1966. 232 с.
2. ***Тураев Н.С. и Жерин И.И.***, Химия и технология урана. М.: Руда и металлы. 2006. 396 с.
3. ***Wilson P.D.***, The Nuclear Fuel Cycle: from Ore to Wastes. Oxford: Oxford University Press. 1996. 342 p.
4. ***Gupta C. and Singh H.***, Uranium Resource Processing: Secondary Resources. Berlin: Springer-Verlag. 2003. p. 522.
5. ***Skripchenko S.Yu., Smirnov A.L., Pastukhov A.M. and Chernyshov M.V.***, Hydrometallurgy 157, 179-183 (2015).
6. ***Abdunnabi H.M., Nikitenko S.I. and Afanasieva T.V., Radioanal J.***, Nucl. Chem., Letters 154(6), 371-377 (1991).
7. ***Ananiev A.V., Tananaev I.G. and Shilov V.P.***, Russ. Chem. Rev. 74(11), 1039–1059 (2005).
8. ***Wei Y.-Z., Fang B., Arai T. and Kumagni M.***, J. Radioanal. Nucl. Chem. 262(2), 409–415 (2004).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ХЛОР ИОНА ПРИ СОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ УЧАСТКОВ №1, 2, 3 (ОПВ 3)

[1]Джемисова М.У., [1]Бекбаев Ж.Н.,
[1]Жансугуров Д.О., [1]Максутов Д.М., [2]Принзин Н.А.
[1]ТОО «СП «Инкай», Шымкент, Казахстан
[2]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

ТОО «Совместное предприятие «Инкай» было зарегистрировано в Республике Казахстан 21 марта 1996 года, как Казахстанско – Германско – Канадское совместное предприятие в форме Товарищества с Ограниченной Ответственностью (ТОО). Основные виды деятельности ТОО «СП «Инкай» – это разведка, добыча, выпуск готовой продукции в виде пероксида урана.

Технологический цикл добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания включает следующие взаимосвязанные технологические процессы: собственно подземное выщелачивание урана, сорбционное извлечение урана из продуктивных растворов, десорбцию урана с насыщенного ионита, выделение десорбированного урана из товарных регенератов в виде концентрата урана.

В соответствии со сложным химическим составом продуктивных растворов и невысоким содержанием полезных компонентов наиболее приемлемый вариант их переработки – сорбционные методы, которые основаны на использовании ионного обмена.

Эффективность сорбционного извлечения компонента, в данном случае урана, определяется хорошими кинетическими и технологическими характеристиками ионообменного сорбента, во многом определяющем производительность и экономические показатели работы участков переработки продуктивных растворов. Основное требование к процессу максимальная емкость ионитов и селективность при сорбции и регенерации урана.

Кроме того, характерной особенностью переработки урансодержащих растворов на месторождении служит минералогический состав рудного пласта, результатом чего является специфический для каждого месторождения химический состав продуктивных растворов. Наряду с ураном из продуктивных растворов на ионообменные смолы сорбируется ряд примесей, в число которых входят и хлор-ионы, в результате чего, происходит концентрирование хлора в продуктах технологических процессов сорбционно-десорбционной переработки продуктивных растворов. В связи с превышением хлор-ионов в технологических растворах уменьшается емкость сорбентов, снижается эффективность технологических процессов, и как следствие, качество конечного продукта, а также особенно сильное влияние хлор-ионы оказывают на коррозионную стойкость технологического оборудования.

ТОО «СП «Инкай» эксплуатирует в настоящее время три технологических участка по переработке продуктивных растворов:

- участок №1 «ОПЗ 1» – ссновной перерабатывающий завод, технология использования IX (Ion Exchange) колонн, эксплуатируемый сорбент Purolite PFA 460/4783 (гелевый сорбент, класс крупности «Б»);

- участок №2 «Сателлит 1» – участок расширения, технология использования IX колонн и расширение с использованием стандартной технологии переработки продуктивных растворов в модульном оформлении (СНК, СДК, КИ), используемый сорбент Purolite PFA 460/4783 (гелевый сорбент, класс крупности «Б»);
- участок №3 «ОПВ 3» – опытная площадка выщелачивания со стандартной технологией переработки продуктивных растворов в модульном оформлении (СНК, СДК, КИ), используемый сорбент АМп (макропористый сорбент сорбент, класс крупности «А»).

В настоящее время при переработке продуктивных растворов подземного сернокислотного выщелачивания наблюдается накопление хлор-иона в продуктах технологических процессов сорбционно-десорбционной переработки ПР участков №1, №2 и ОПВ 3.

Для исследования закономерности распределения урана и хлор иона в технологических продуктах проведен химический анализ технологических растворов и ионообменных сорбентов участка №№1,2,3.

Таблица 1. Сравнительные данные по урану и хлор-иону в технологических растворах

Наименование	ПР		ТД		МС		МД	
	U, г/дм³	Cl, г/дм³	U, г/дм³	Cl, г/дм³	U, г/дм³	Cl, г/дм³	U, г/дм³	Cl, г/дм³
Участок №1	0,073	1,36	26,9	1,12	0,001	1,36	0,096	1,48
Участок №2	0,098	0,99	85,9	3,32	0,001	0,99	0,048	0,78
							0,040	0,69
							0,045	0,73
Участок №3	0,054	1,25	64,7	9,36	0,001	1,25	0,136	0,88

Таблица 2. Сравнительные данные по урану и хлор-иону в сорбенте

Наименование	После сорбции				После десорбции				После денитрации			
	U, %	U, г/дм³	Cl, %	Cl, г/дм³	U, %	U, г/дм³	Cl, %	Cl, г/дм³	U, %	U, г/дм³	Cl, %	Cl, г/дм³
Участок №1	6,4	31,84	0,73	3,63	0,31	1,51	0,74	3,61	0,14	0,66	0,58	2,72
Участок №2	10,4	51,74	0,62	3,08	0,06	0,29	0,75	3,66	0,01	0,05	0,53	2,49
	10,4	51,74	0,61	3,03	0,05	0,24	0,73	3,56	0,01	0,05	0,53	2,49
	10,3	51,24	0,63	3,13	0,06	0,29	0,71	3,46	0,01	0,05	0,51	2,39
Участок №3	5,2	18,84	1,04	3,77	0,19	0,68	0,76	2,71	0,06	0,21	0,46	1,59

Результаты анализов технологических растворов и ионообменных сорбентов участка №№1,2,3 показывают, что хлор ион поступает в сорбционно-десорбционный процесс с продуктивными растворами, основное количество концентрируется на сорбенте после процесса сорбции, частично смывается при десорбции и оставшаяся часть при денитрации. Наблюдается следующая закономерность, чем больше соотношение уран/хлор, тем выше емкость сорбента по урану и ниже содержание хлор иона. Наибольшее накопление хлор иона на наблюдается при сорбции урана из ПР на сорбенте марки АМп участка №3, на сорбенте марки Purolite PFA 460/4783 участка №1,2 содержание хлор иона в 2 раза меньше.

Для определения природы накопления хлор иона на ионообменных сорбента проведены исследования кинетических емкостных характеристик производственных ионообменных сорбентов.

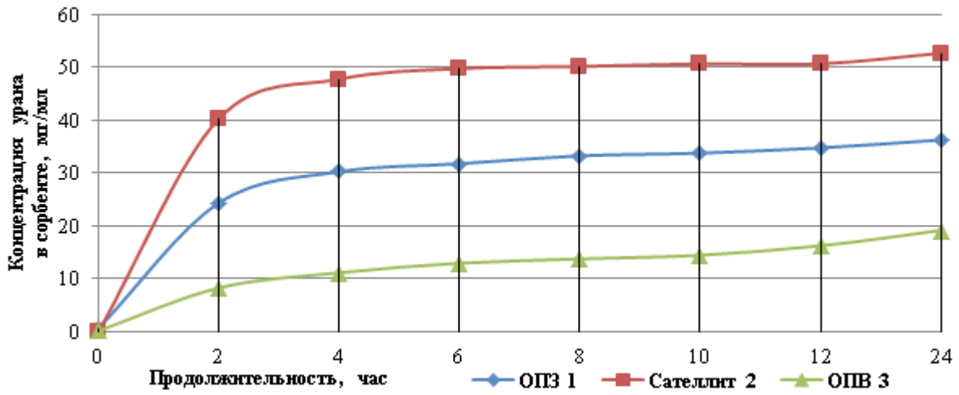


Рисунок 1. Кинетические кривые сорбции урана

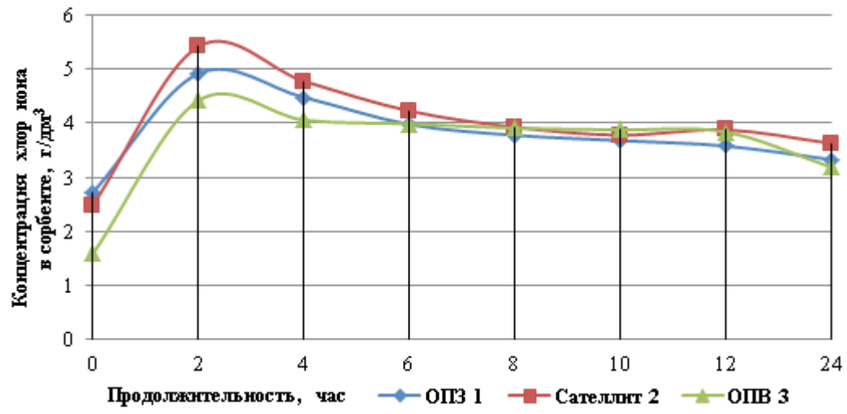


Рисунок 2. Кинетические кривые сорбции хлор-иона

Таблица 3. Кинетические характеристики сорбента

№	Технологические параметры и показатели процесса	Ед. измерений	Участок №1	Участок №2	Участок №3
1	Время достижения условного равновесия, t_0	час	11,4	7,3	20,1
2	Емкость ионита по урану при условном равновесии, Ар.	кг/м^3	34,5	50,1	18,2
3	Коэффициент концентрирования урана, К при Ар.		420,7	501	325
4	Кинетический коэффициент сорбции, β	час	0,027	0,015	0,062
5	Время, параллельного переноса, Δt	час	0,72	0,53	1,11

Кинетические кривые сорбции показывает, что наиболее низкая сорбционная емкость наблюдается у анионита марки АМп, участок №3. Максимальной сорбционной емкостью обладает сорбент марки Purolite PFA 460/4783, участок №2. Сорбент марки Purolite PFA 460/4783 с участка №1 по сорбционным характеристикам занимает промежуточное место.

Согласно кинетическим коэффициентам сорбции урана исследуемые сорбенты можно расположить в следующий ряд возрастания сорбционной способности:

Участок №3 < Участок №1 < Участок №2

Распределение примеси хлора при исследовании кинетики сорбции у сорбентов с участков «ОПЗ 1», «Сателлит 1» и «ОПВ 3» схожи, с ионитов постепенно смывается хлор-ион, но конечная концентрация хлора в смоле после 24 часов сорбции остается больше исходной концентрации. В результате полученных данных выявлена прямая зависимость содержания хлор-иона в сорбенте от исходной концентрации урана в продуктивном растворе: при высоких содержаниях урана в продуктивных растворах содержание хлора в сорбенте снижается. Зависимость хорошо наблюдается в процессе изотермы сорбции участка «ОПВ 3» (смола АМп).

Относительно накопления примесей следует, что наиболее высокое концентрирование хлора наблюдается в товарных десорбатах участка 3. По результатам химического анализа содержание хлор-ионов в товарном десорбате участка №3 от 9,36 г/дм^3 до 10,2 г/дм^3, содержание хлор иона в товарном десорбате участка №1,2 содержание 5,0-6,0 г/л.

Известно, что в наибольшей степени активизируют коррозию оборудования, присутствующие в растворе так называемые ионы депассиваторы, в частности галогены – ионы хлора, брома, йода и т.д. Что касается хлор-ионов, то они особенно сильно влияют на коррозионную стойкость оборудования при концентрациях 15-30 г/дм^3, а содержание хлора в товарном десорбате участка 3 фактически граничит с пороговым содержанием концентраций по хлору.

Одним из вариантов решения задачи снижения накопления содержания хлор иона рассмотрен метод по промывке насыщенного сорбента разбавленными растворами серной кислоты. Исследования по определению оптимальных параметров промывки сорбента показали что, максимальная степень отмывки сорбента от хлора – 36,21% достигается при концентрации серной кислоты 15 г/дм^3, значение (V_p/V_c = 2) , удельная нагрузка 1 об/об/час. Потеря урана с маточником отмывки при данном режиме промывки составляет – 0,73%.

Таким образом, на основании проведенных исследований разработан баланс движения и накопления урана и хлор иона в технологии переработки продуктивных растворов участков №№1,2,3; определены кинетические свойства эксплуатируемых промышленных сорбентов, рассмотрен вариант отмывки (снижения) хлор иона с ионообменного сорбента.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД РЕШЕНИЯ ИОНООБМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Бердыхалык А., Алибаева К.А., Карманов Е.М.
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

В лаборатории сорбционных методов ГЕОХИ РАН (РФ, г. Москва) совместно со специалистами ТОО «ИВТ» (РК, г. Алматы) проводились работы по изучению физико-химических закономерностей ионного обмена на сорбентах различного типа с решением ряда задач по динамики сорбции [1-3]. На основе полученных данных созданы математические модели различных сорбционных процессов, разработаны методы оптимизации, которые реализованы в виде компьютерных программ, что составляет научную базу решения ионообменных задач разной степени сложности.

Разработана схема решения технологической задачи, представленная на рисунке 1, которая отражает основные этапы исследования: выбор математической модели, экспериментальное определение коэффициентов модели и создание банка данных сорбентов, а также вычислительный эксперимент и оптимизация процесса.

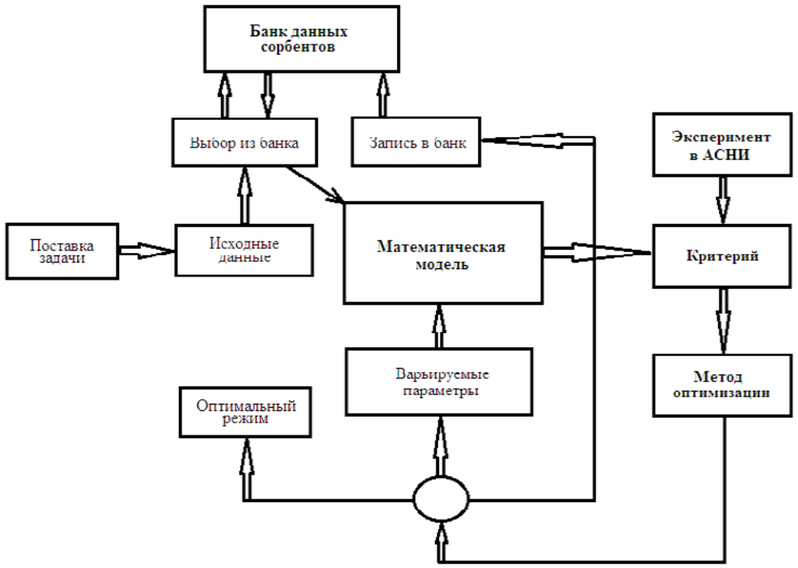


Рисунок 1. Схема решения технологической задачи

Ионообменные технологические процессы обычно реализуются в виде многоступенчатых схем, а в каждом отдельном фильтре схемы - в несколько чередующихся стадий: сорбция на исходной форме сорбента, взрыхление сорбента, регенерация отработанного сорбента, отмывка сорбента от избытка регенерирующего раствора, повторная сорбция на частично регенерированном сорбенте в цикле до стабилизации [4-7].

Эти процессы описываются системой уравнений динамики ионного обмена многокомпонентных смесей. Система уравнений включает уравнения материального баланса (1), статики (2) и кинетики (3-4).

$$D \cdot \frac{\partial^2 c_i}{\partial x^2} + v\frac{\partial c_i}{\partial x} + \varepsilon\frac{\partial c_i}{\partial t} + \frac{\partial a_i}{\partial t} = 0 \qquad (1)$$

$$a_i = \varphi_i(c_1^*, \ldots, c_n^*) \qquad (2)$$

внешняя диффузия

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \beta\left(c - c^*\right) \qquad (3)$$

внутренняя диффузия

$$\frac{\partial (ar)}{\partial t} = D\frac{\partial^2}{\partial r^2}(ar) \qquad (4)$$

Специфика каждой стадии процесса отражается видом кинетики, а также начальными и граничными условиями.

Начальные и граничные условия:

а) Ионный обмен на сорбенте в однородной форме:

$$C_i(0, x) = 0; \qquad a_i(0, x) = 0; \qquad C_i(t, 0) = C_{0i}$$

б) Ионный обмен на частично отработанном сорбенте:

$$C_i(0, x) = C_{0i}(x); \qquad a_i(0, x) = a_{0i}(x); \qquad C_i(t, 0) = C_{0i}$$

В уравнениях (а) и (б): v – скорость потока; C_i – концентрация в растворе; x – длина; ε – порозность; t – время; a_i – концентрация в ионите; C^*_i – равновесная концентрация в растворе; r – радиус зерна ионита; β – коэффициент внешней диффузии, D – коэффициент внутренней диффузии, D^* – коэффициент продольного переноса.

Для расчета всех стадий технологического процесса в ионообменных фильтрах необходимо знать величины параметров математических моделей (константы обмена или коэффициенты распределения, кинетические и гидродинамические коэффициенты).

Параметры опыта, такие как скорость потока «v», высота слоя «l» и радиус зерна ионита «r» измеряются в процессе эксперимента. Базовые параметры, которые позволяют проводить математическое моделирование процесса, а именно, константа обмена (K) или коэффициент распределения (Γ), коэффициент внутренней (D) или внешней (β) диффузии, коэффициент продольной диффузии (D^*) и порозность (ε) определяются методом решения обратных задач. Полученные результаты записываются в банк данных коэффициентов, которые являются фундаментальными характеристиками сорбционной системы.

Преимущество поиска коэффициентов методом решения обратных задач заключается в возможности одновременного получения двух определяющих динамический процесс коэффициентов – равновесного и кинетического. Это имеет немаловажное значение при расчете промышленных колонн.

Для проведения экспериментальных исследований в ГЕОХИ РАН разработана автоматизированная система исследований сорбционных процессов АСНИ-ГЕОХИ [8].

В качестве инструмента классификации сорбентов и для их выбора при решении различных задач создан банк данных АСНИ-ГЕОХИ [9].

Банк данных включает три раздела (рисунок 2): банк экспериментальных выходных кривых; банк математических моделей; банк равновесных, кинетических и гидродинамических коэффициентов.

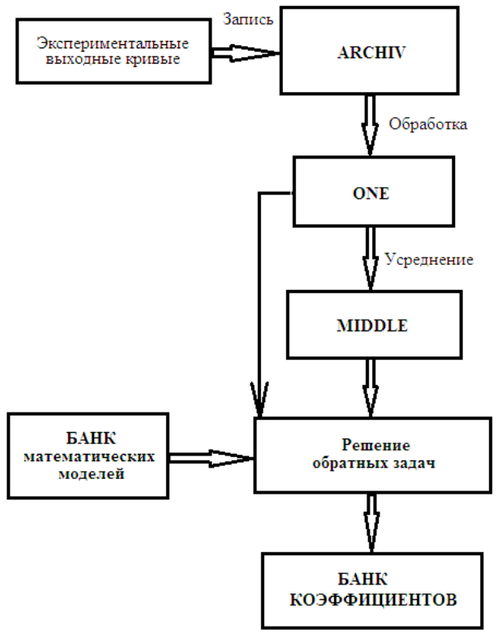


Рисунок 2. Структура банка данных

Банк экспериментальных выходных кривых формируется в автоматизированной системе исследований АСНИ ГЕОХИ по методу измерения целевого компонента и состоит из двух разделов: «ARCHIV», «ONE».

В раздел «ARCHIV» записываются экспериментальные выходные кривые, полученные на автоматизированном стенде. К этому разделу подключена программа обработки выходных кривых и определения таких параметров полученной нормированной выходной кривой, как среднее время пребывания и дисперсия. Из среднего времени пребывания вычисляется полная обменная емкость сорбента.

В раздел «ONE» записываются полученные в результате обработки нормированные выходные кривые и значения вычисленных параметров. Из этого раздела банка осуществляется с помощью специального пакета программ решение обратных задач и формирование банка равновесных и кинетических коэффициентов, а также выдача результатов на всех этапах обработки.

Банк математических моделей включает пакет программ расчета динамики ионного обмена для индивидуального компонента при линейной и нелинейной изотермах сорбции во внешне- и внутри-диффузионной кинетических областях, а также программу расчета гидродинамики по диффузионной модели.

Пакет программ решения обратных задач обеспечивает выполнение в диалоговом режиме выбор математической модели из предлагаемого перечня, задание начального приближения параметров процесса.

При решении обратных задач по экспериментальным выходным кривым, хранящимся в банке, в последовательные моменты времени производится оценка неизвестного параметра путем минимизации критерия, которым является функция рассогласования экспериментальных данных и данных, рассчитанных по математической модели:

$$\text{criterion} = \sum_{i=1}^{N} \left[c(h,t_i) - y(h,t_i) \right]^2$$

где:

c - экспериментальная концентрация, y - рассчитанная концентрация, h - высота слоя сорбента, t - время, I - номер экспериментальной точки (i = 1,.....N), N - число экспериментальных точек.

Не варьируемые параметры эксперимента (скорость потока, диаметр зерна, порозность) берутся из файла экспериментальной выходной кривой, хранящегося в разделе «ONE» банка экспериментальных выходных кривых. Начальное приближение определяемого коэффициента распределения берется программно из файла экспериментальной выходной кривой, а начальное значение кинетического коэффициента задается исследователем.

Минимизация критерия проводится последовательно по каждому оцениваемому параметру.

Полученные в результате решения обратной задачи значения коэффициентов математической модели, а также оценка степени адекватности процесса математической модели в виде величины критерия записываются в банк коэффициентов.

Математическая модель процесса определяется путем сравнения между собой величин критерия, получаемых при решении обратных задач для экспериментальной выходной кривой по разным математическим моделям.

Банк коэффициентов включает характеристику типовой задачи (состав раствора, число компонентов и их концентрации, целевой компонент), характеристику сорбента (название, полная обменная емкость и пр.), физико-химические характеристики системы сорбент-раствор (вид кинетики, вид изотермы, равновесный и кинетический коэффициенты).

Доказательства адекватности разработанных в ГЕОХИ РАН математических моделей динамики ионообменной сорбции реальным промышленным процессам были подтверждено специальными исследованиями характера гидродинамического режима в укрупненных и промышленных фильтрах [10].

Как следует из всего вышесказанного, экспериментальные исследования при решении технологической задачи целесообразно заменить мат.моделированием [11-14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика определения кинетических и равновесных параметров ионообменной сорбции урана из промышленного раствора, которая использована для выбора адекватной модели данного процесса, определения коэффициентов модели и их зависимости от параметров эксперимента.
2. Создан новый раздел банка выходных кривых сорбции урана из производственного раствора.
3. Показано, что сорбция урана из производственного раствора описывается математической моделью динамики ионного обмена для линейной изотермы и внутренней диффузии.
4. Определены параметры математической модели, сформирован банк коэффициентов ионообменного процесса сорбции урана, который может быть использован для обоснованного выбора режима при решении технологической задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Сенявин М.М., Рубинштейн Р.Н., Веницианов Е.В., Галкина Н.К., Комарова И.В., Никашина В.А.*** Основы расчета и оптимизации ионообменных процессов. М.: Наука. 1972. 174 с.
2. ***Сенявин М.М., Рубинштейн Р.Н., Комарова И.В., Смагин В.Н., Ярошевский Д.А., Галкина Н.К., Никашина В.А.*** Теоретические основы деминерализации пресных вод. М.: Наука. 1975. 325 с.
3. ***Сенявин М.М.*** Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. М.: Химия. 1980. 272 с.
4. ***Сенявин М.М., Галкина Н.К., Комарова И.В.*** Расчет и оптимизация режимов работы катионообменных фильтров. //Теплоэнергетика. 1980. № 6. с. 2-7.
5. ***Комарова И.В., Галкина Н.К., Махалов Е.М., Ипполитова О.Д., Колотилина Н.К., Шептовецкая К.И., Гвоздев В.Ф.*** Решение задач ионообменной водоподготовки на основе математического моделирования с применением ЭВМ. // Теория и практика сорбционных процессов. 1989. N20. с. 30-42.
6. ***Рубинштейн Р.Н., Комарова И.В., Галкин С.В., Закова И.М.*** Учет неполной диссоциации котионов при расчетах ионообменных равновесий применительно к задачам регенерации сильных катионитов серной кислотой. // Журнал физической химии. 1980. т.54. N6. с. 1496-1499.
7. ***Веницианов Е.В., Галкина Н.К., Ипполитова О.Д., Махалов Е.М.*** Решение задач динамики ионного обмена смесей на анионитах. //Ионный обмен. 1981. с. 137-151.
8. ***Аргин М.А., Комарова И.В., Сенявин М.М., Штраль И.Я., Семенов М.А.*** Автоматизированная система исследований ионообменных процессов. // Химия итехнология воды. 1990. т.12. N4. с. 378-381.
9. ***Комарова И.В., Галкина Н.К., Никашина В.А., Анфилов Б.Г.*** Создание банка данных ионообменных сорбентов.//Сорбционные и хроматографические процессы. 2001. т.1 Вып.4 с. 606-612.
10. ***Закова И.М., Комарова И.В. Одинцов К.Ю., Лебедев В.Ю.*** Моделирование технологических процессов в ионитовых фильтрах. // Теплоэнергетика. 1983. № 7. с. 13-16.
11. ***Комарова И.В., Галкина Н.К., Анфилов Б.Г., Шептовецкая К.И.*** Визуализация процесса ионообменного умягчения воды с целью прогнозирования и управления // Сорбционные и хроматографические процессы, том 8. Выпуск 1. 2008. с. 30-36.
12. ***Комарова И.В., Галкина Н.К., Шептовецкая К.И.*** Определение коэффициентов

глубокой отмывки ионитов разной природы для пополнения банка данных и расчета процесса //Сорбционные и хроматографические процессы 2011. том 11, вып 2. с. 151.
13. ***Комарова И.В.*** Универсальный подход к расчету и оптимизации схем ионообменной водоподготовки. //Физико-химические основы ионообменных и хроматографических процессов. Сборник материалов ХШ Международной конференции «Иониты-2011» с. 21-24.
14. ***Галкина Н.К.*** Вычислительный эксперимент как способ исследования многокомпонентных систем//Физико-химические основы ионообменных и хроматографических процессов. Сборник материалов ХШ Международной конференции «Иониты-2011» с. 17-19.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ИОНООБМЕННУЮ СМОЛУ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ

Мырзакулов Н.Д., Кононов А.В., Нурманов К.К., Лексин А.М., Лебедев Н.М., Арефьева А.Н.
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Успешно проведенные теоретические и экспериментальные исследования в области ультразвуковой кавитации и акустических течений, позволили разработать новые технологические решения повышения эффективности извлечения урана из продуктивных растворов. Так, для повышения эффективности извлечения урана из продуктивных растворов и интенсификации ионного обмена ТОО «ИВТ» совместно с ООО «Александра - Плюс» было предложено применять ультразвуковое (УЗ) воздействие. Активация технологических процессов ультразвуком - это один из современных способов увеличения скорости протекания (интенсификации) физических и химических реакций. Известно, что применение ультразвука приводит не только к увеличению скорости химических реакций, но и улучшает их качество. Производя ультразвуковую обработку жидкой среды реально получить химические реакции, невозможные в других условиях.

В последние годы был опубликован ряд исследований в области применения ультразвуковых технологий. Так, существующие ультразвуковые технологии и оборудование могут применяться для повышения эффективности ионного обмена и обескремнивания ионообменной смолы. К настоящему моменту в ТОО «ИВТ» разработан и испытан способ ультразвукового воздействия на процессы десорбции и обескремнивания ионообменной смолы.

Эксперименты по определению влияния ультразвукового воздействия на процесс очистки ионообменной смолы от соединений кремния и на величину механической прочности ионообменной смолы, проводили на отрегенерированной смоле, доставленной из цеха УППР рудника «Уванас».

Микрофотографии полированных шлифов проб ионообменной смолы без использования и с использованием УЗ воздействия, выполненные в отраженном свете на микроскопе «OLYMPUS» при увеличении, кратности: 100х, 200х и 400х - представлены на рис. 1-6.

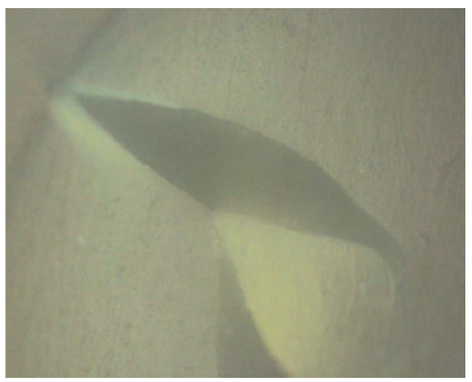


Рис. 1. Без УЗ воздействия. Увеличение 400х

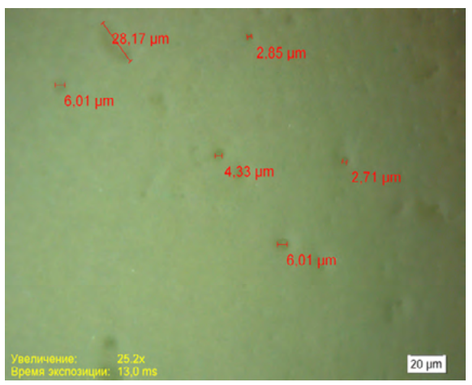


Рис. 2. С УЗ воздействием. Измерение поры в микронах. Увеличение 400х

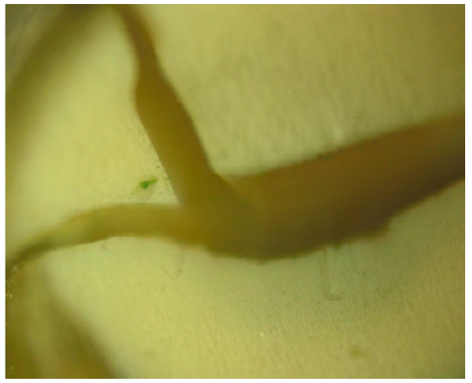


Рис. 3. Без УЗ воздействия. Увеличение 200х

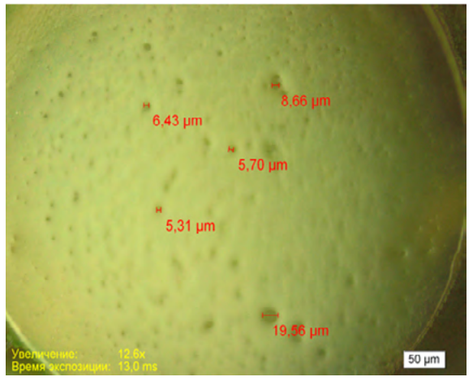


Рис. 4. С УЗ воздействием. Измерение поры в микронах. Увеличение 200х

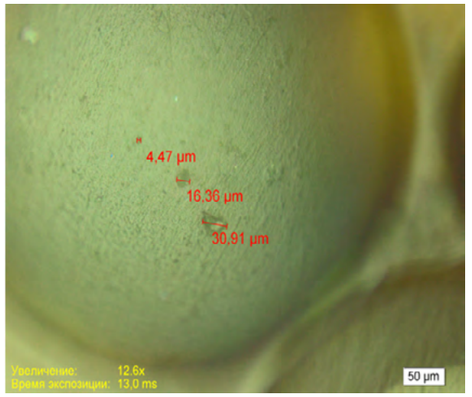


Рис. 5. Без УЗ воздействия. Увеличение 200х

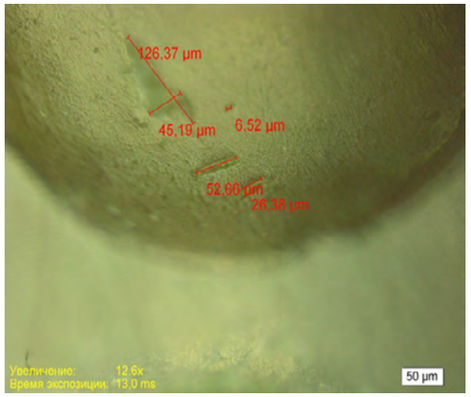


Рис. 6. С УЗ воздействием. Измерение поры в микронах. Увеличение 200х

Как видно из рисунков 1; 3; 5 - в смоле не прошедшей УЗ обработку открытые поры обнаружены не были. На рисунке 2; 4; 6 в смоле, которая прошла УЗ обработку, видны открывшиеся поры. Для определения степени очистки ионообменной смолы от кремния и других компонентов были выполнены анализы смолы не прошедшей и прошедшей УЗ обработку. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Таблица №1. Содержание на смоле урана железа и кремния

Наименование продукта	Содержание на смоле, мг/кг			Степень очистки,%		
	U	Fe	Si	U	Fe	Si
Исходная смола	46	203	38500	0,2	35,9	40,5
Смола после УЗ обработки	45,9	130	22920			

Как видно из представленных фотографий и результатов анализов - применение разработанного способа УЗ воздействия на смолу позволяет обновить её поверхность, открыть поры и очистить ионообменную смолу на 40% от кремния и на 36% от железа.

Дальнейшие работы были направлены на исследование влияния УЗ воздействия на процесс десорбции. Исследования проводились в ЦППР рудника «Харасан-2» ТОО «Байкен-U». Для этого была разработана, изготовлена и установлена на колонне СДК-1 500 ультразвуковая установка (рис. 7-8). Установленная установка работает таким образом, что вырабатываемые ей ультразвуковые импульсы (частотой свыше 18 кГц) подаются непосредственно на тело ионообменной колонны посредством системы установленных на её внешней поверхности группы ультразвуковых излучателей. Периодически создаваемые УЗ излучателями импульсы воздействуют на весь рабочий внутренний объем колонны. Таким образом, вся поверхность зерен анионита непрерывно взаимодействует с реагентами и очищается в ультразвуковом поле. Установленная на колонне СДК-1500 ультразвуковая установка снабжена автоматическим управлением, что позволяет регулировать частоту УЗ излучения независимо для каждой из групп УЗ излучателей и работать как в дискретном, так и в непрерывном режимах.

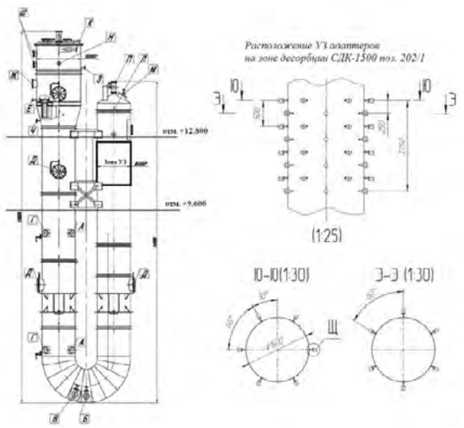


Рисунок 7. Место установки УЗ излучателей на колонне СДК-1500

Рисунок 8. Расположение УЗ излучателей на ветви десорбции колонны СДК-1500 поз. 202/1 в ЦППР рудника «Харасан-2» ТОО «Байкен-U»

Эффективность ультразвукового воздействия оценивалась по анализам проб анионита и растворов, отобранных с двух колонн, одна из которых работала с ультразвуком. При этом колонна с работающим ультразвуком была опытной, а без ультразвука – контрольной.

При анализе полученных в результате испытаний показателей работы ультразвукового воздействия было установлено, что применение для десорбции УЗ воздействия позволяет при сниженном на 23,4% количестве подаваемых на десорбцию нитратов увеличить содержание в десорбате урана на 33,1%.

Дальнейшие исследования были направлены на определение влияния УЗ воздействия на механическую прочность ионообменной смолы. Эксперименты по определению влияния УЗ воздействия на механическую прочность ионообменной смолы проводились в два этапа. На первом этапе определялось изменение механической прочности смолы после 120 часов обработки ультразвуком, на втором этапе после 240 часов УЗ обработки. В ходе экспериментов отбирались пробы исходной смолы (при 120 часах – проба № 1/1, при 240 часах – проба № 3/1) и пробы смолы после УЗ воздействия (120 часов

– проба № 2/1, 240 часов – проба № 4/1). Режим работы ультразвукового генератора при проведении экспериментов по определению влияния УЗ воздействия на механическую прочность смолы устанавливался как 6:25, т.е. 6 часов работы 25 мин пауза.

Определение механической прочности ионообменной смолы проводилось в лаборатории ТОО «СГХК». Результаты определения механической прочности смолы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты анализов проб смолы на механическую прочность

№ пробы	мехпрочность,%	Примечания
1/1	99,0	Исходная смола 1 опыт
2/1	99,5	Смола после обработки УЗ в течение 120 часов
3/1	98,0	Исходная смола 2 опыт
4/1	98,0	Смола после обработки УЗ в течение 240 часов

Результаты, полученные при проведении экспериментов по определению УЗ воздействия на механическую прочность ионообменной смолы - показали отсутствие уменьшения ее механической прочности, независимо от интенсивности и времени УЗ воздействия.

На основании полученных результатов проведенных исследований можно сделать вывод о том, что разработанная технология очистки ионообменной смолы от кремния и железа с использованием УЗ воздействия позволяет без использования дополнительных реагентов очистить ионообменную смолу от кремния на 40,5% и железа на 36%.

Испытания УЗ воздействия на процесс десорбции позволили оценить его эффективность. Полученные результаты испытаний разработанного оборудования и технологии УЗ воздействия позволяют сделать вывод о целесообразности ее применения для повышения качества получаемых десорбатов и снижения количества подаваемых на десорбцию нитратов.

ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ УРАНА ИЗ УРАНОНОСНЫХ ТОРФЯНИКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАМЫШАНОВСКОЕ»

[1]Евтеева Л.И, [2]Совеня Н.В., [3]Хохлов С.В.
[1]ОсОО «Информационно-Исследовательский Центр», Кыргызстан
[2]ООО «Уральская геотехнологическая компания», Екатеринбург, Россия
[3]ЗАО МГК Инвест, Кыргызстан

Месторождение «Камышановское» расположено в Сокулукском районе Чуйской области Кыргызской Республики, недалеко от села «Камышановка», в 65 км от г. Бишкек и в 85 км от г. Карабалта (рис.1). Поисковые и геологоразведочные работы на Камышановской площади осуществляет компания ЗАО МГК Инвест с 2006 года, в соответствии с лицензией 2276 МР, выданной Агентством по Геологии и Минералогии Кыргызской Республики.

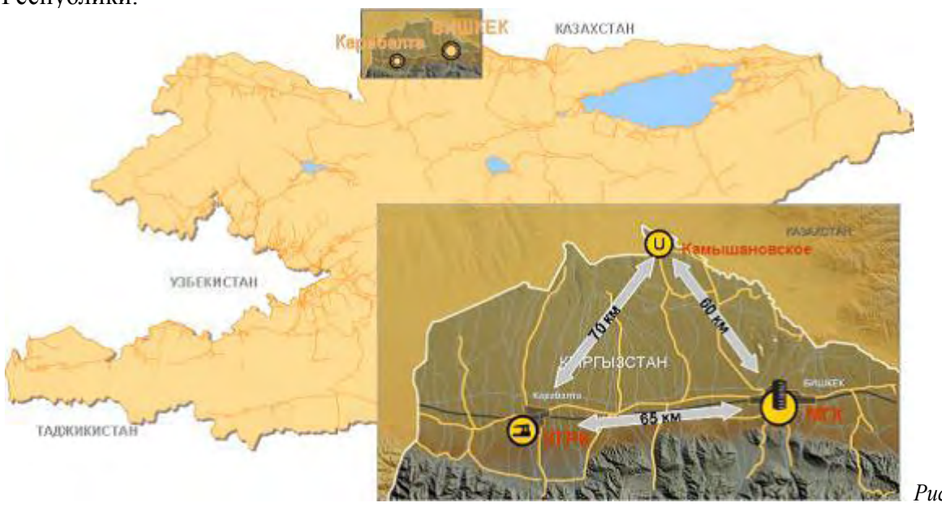


Рис.1. Схематичная карта расположения месторождения «Камышановское»

Месторождение имеет осадочный генезис и относится к классу экзогенных грунтово-инфильтрационных месторождений. Образование торфяников и, соответственно, отложение урана в них началось почти одновременно с началом образования пойменных болот на I и II надпойменных террасах, предположительно в плейстоцене – голоцене, т.е. около 10-15 тыс. лет назад. Из-за «молодости» урановых руд в них практически отсутствуют продукты ядерного распада, и, как следствие, они характеризуются относительно низкой гамма-активностью, изредка превышающей 30-50 мкрР/ч.

В поперечном профиле месторождения (рис.2) торфяные, илисто-торфяные и иловые прослои с юга на север закономерно сменяют друг друга. На южной окраине залежи преобладают чистые или слабо заиленные торфа, мощность которых в отдельных местах достигает двух и более метров. Они располагаются непосредственно у цокольной части третьей террасы и заполняют глубоко врезанные участки палеорусла по внешней стороне изгиба реки, т.е. её бывший стрежень. По мере удаления от цокольной части террасы на север торф расщепляется на тонкие прослои, выклинивающиеся на расстоянии от 10 до 480 м от уступа III террасы. Породы, залегающие в промежутках между

прослоями торфа, в южной части представлены темно-серыми до черных илистыми торфами и илами, которые в северном направлении замещаются илами, содержащими все меньшее и меньшее количество органических примесей.

Запасы урана, подсчитанные компанией Saint Barbara в соответствии со стандартами JORC, оцениваются в 2 288 т.

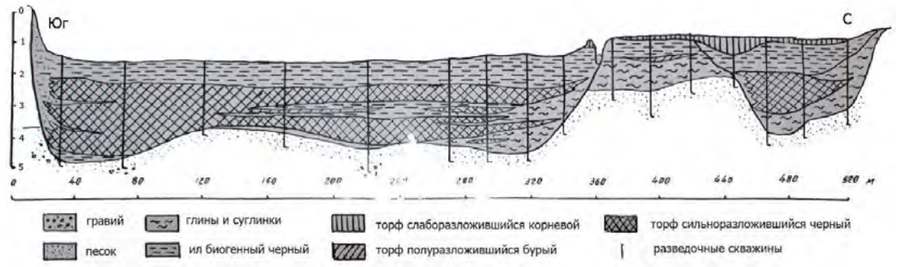


Рис.2. Схематический геологический разрез

В результате многочисленных исследований изначально предполагалась отработка месторождения «Камышановское» способом открытой добычи торфа с предварительным осушением месторождения и последующим обогащением физическими методами (гравитационное обогащение, сжигание, пиролиз с газификацией), выщелачиванием урана из полученных концентратов с получением «желтого кека», аффинажа до товарного продукта – закиси-окиси урана. Предварительная экономическая оценка отработки месторождения показала большую капиталоемкость строительства добывающего предприятия при высоких эксплуатационных расходах и относительно низкой рентабельности.
В 2015 году был проведен комплекс работ по оценке возможности выщелачивания урана на месте залегания (in situ) с последующими операциями сорбции на ионит, десорбции и получения «желтого кека».

Предварительные гидрогеологические исследования, выполненные на двух кустах скважин, показали удовлетворительные фильтрационные свойства урановосного торфа: средний коэффициент фильтрации К составил 1,76 м/сут при колебаниях от 0,30 до 2,18 м/сут.

В результате лабораторных исследований по перколяционному выщелачиванию урана растворами серной кислоты, карбонатов и бикарбонатов натрия и аммония, хлоридно-карбонатными растворами был выбран карбонатный режим выщелачивания кальцинированной содой (Na_2CO_3).

При выборе местоположения участка для проведения опытов по определению основных фильтрационных параметров рудоносных торфяников и опытной ячейки для проведения натурного опыта по выщелачиванию главными критериями были представительность по литологическому строению разреза и его мощности, среднему содержанию извлекаемого полезного компонента и предполагаемым фильтрационным свойствам рудовмещающих пород. В качестве основной была выбрана южная полоса распространения урановосных торфяников, как наиболее изученная, ресурсы которой оценены по наиболее высокой категории Measured. Именно с этой части месторождения предполагается начать его отработку.

Принципиальная схема выщелачивания урана in situ включала:

— подачу растворов соды заданной концентрации в тело торфяной залежи через систему закачных выработок (траншеи и скважины), включающую комплекс технических приемов и средств для подачи в недра, управления движением и подъема растворов на поверхность, обусловленную гидрогеологическими особенностями месторождения;
— выщелачивание урана по мере продвижения выщелачивающих растворов от закачных выработок к откачным;
— подъем на поверхность продуктивных (урансодержащих) растворов через систему откачных выработок (траншей и скважин);
— извлечение урана из продуктивных растворов на сорбент;
— доукрепление маточных растворов содой и подачу их в недра на выщелачивание.

Опытная ячейка представляла собой замкнутый изолированный прямоугольник с размерами в осях 8×15 м. По периметру ячейки экскаватором была пройдена кольцевая траншея глубиной 2,5-2,6 м и шириной 280 мм (рис.3). Глубина траншеи определялась мощностью торфа. Траншея пройдена до илов, строго не доходя до нижележащих аллювиальных отложений (песок, гравий). Для этого по углам траншеи были пробурены скважины и точно установлена мощность торфа.

После проходки траншеи внешний её периметр устелили, включая дно, полиэтиленовой пленкой толщиной 100-200 мкм. Для спуска пленки в траншею ее низ пригрузили с тем чтобы она не плавала, гвоздями 150 мм через 300-400 мм. Пленку загнули на внешний борт траншеи и присыпали торфом, вынутым из траншеи. После выстилания пленкой внешнего борта траншеи в углах и посредине длинных сторон траншеи установили перфорированные трубы диаметром 110 мм, выполняющие роль закачных скважин. В центре ячейки была сооружена откачная скважина-траншея (рис.4).

Рис.3. Сооружение опытной ячейки

Аппаратурная схема всего комплекса включала:

— закачные и откачную скважины;
— насос для подъема продуктивных растворов из откачной скважины;
— сорбционную колонну с анионитом;
— буферную емкость технологических растворов;
— емкости приготовления растворов соды;
— узел дозирования выщелачивающих растворов с насосами;
— систему трубопроводов с запорно-регулирующей и контрольной аппаратурой.

Для обеспечения опытного участка электроэнергией применялась передвижная дизельная электростанция.

Перед проведением испытаний была осуществлена прокачка всех скважин эр-лифтом до «светлой воды». Сброс откачиваемой воды производился в ближайший осушительный канал. После прокачки и установления статических уровней воды во всех скважинах была произведена откачка из центральной скважины погружным насосом с максимальным расходом. Откачиваемой водой были заполнены буферная емкость и емкости (IBC-контейнеры) для приготовления растворов. Откачка производилась до понижения уровня воды в центральной траншее до подошвы залежи торфа. При этом излишки воды также сбрасывались в ближайший осушительный канал. Посредством байпаса расход (дебит) воды из центральной скважины был отрегулирован так, чтобы динамический уровень воды в скважине стабилизировался на уровне подошвы залежи торфа – 2,7 м. При этом дебит откачки составил 0,8 м^3/ч. Водородный показатель в откачиваемой воде составил pH=7,60. Измерения pH производились иономером Hanna HI 8314 с термокомпенсатором.

а *в*

Рис.4. Технологические скважины: а – закачная; в - откачная

В ходе испытаний подачу выщелачивающих растворов в закачную систему опытной ячейки осуществляли через 6 закачных скважин. Расход на закачке измерялся тарированной емкостью и секундомером по каждой скважине путем суммирования частных замеров. Выщелачивающие растворы посредством вентилей были равномерно распределены по скважинам. На закачку подавалось 0,8 м^3/ч, т.е. закачка и откачка работали в балансе. Выщелачивающий раствор приготовлялся путем подачи крепкого раствора соды в закачную магистраль. Концентрация соды в выщелачивающем растворе поддерживалась на уровне 30 кг/м^3.

Откачка-закачка технологических растворов продолжалась непрерывно. При этом в откачных (продуктивных) растворах с частотой 3 ч измерялось значение pH. Кроме того, два раза в сутки в 9:00 и 21:00 отбирались пробы продуктивных растворов для измерения остаточной концентрации соды и концентрации урана.

Продуктивные растворы направлялись в сорбционную колонну, загруженную анионитом АВ-17-8. Сорбент находился в набухшем состоянии. Масса загруженного в колонну анионита составила 42 кг, или 21 кг в пересчете на сухой. Продуктивный раствор пода-

вался снизу-вверх, смола находилась в состоянии зажатого слоя, т.е. не перемешивалась. Через сутки с момента подачи выщелачивающего раствора в недра в продуктивном растворе был обнаружен уран концентрации 4,13 мг/дм3, концентрация соды составила 8,5 мг/дм^3, pH=9,5. Далее концентрация урана стабильно росла и на 3 сутки достигла 11, 81 мг/дм^3. При этом водородный показатель раствора достиг значения 10,2.

Всего за время опыта на сорбционную колонну было подано 168 м^3 продуктивных растворов (ПР) со средним содержанием урана 13,66 мг/дм^3. Из продуктивных растворов извлеклось на сорбент 1,9 кг урана при среднем извлечении 0,19 кг/сут. Содержание урана в сорбенте составило 58,3 кг/т в пересчете на сухой или 42 кг/м^3 в пересчете на влажный сорбент. Эти данные близки к полной динамической обменной емкости (ПДОЕ) анионита АВ-17-8.

Десорбцию урана выполнили раствором нитрата аммония концентрации 2М. Получили десорбат с содержанием урана 4,6 г/дм^3. Извлечение урана в десорбат составило 98,1%. Для получения «желтого кека» было выбрано пероксидное осаждение, поскольку растворимость аммоний-уранилтрикарбоната составляет около 13 г/дм^3 (6 г/дм^3 по урану), а пероксид урана практически нерастворим.

В результате был получен концентрат следующего состава:

содержание урана	**60%**
Fe	< 170 ppm
Cu	< 60 ppm
Zn	< 250 ppm

Остальные элементы не обнаружены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в мировой практике был осуществлен опыт по извлечению урана из урановосных торфяников выщелачиванием на месте залегания.

Показана принципиальная возможность применения этого способа для отработки подобных месторождений.

Для отработки месторождения «Камышановское» можно рассматривать способ выщелачивания урана из руды на месте залегания как один из наиболее экономичных.

Необходимо продолжить исследования по усовершенствованию системы подачи растворов в рудое тело и извлечению их на поверхность.

Необходимо выполнить исследования по экологической защите окружающей среды.

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

УДК 622.775

Рогов Е.И., Рогов А.Е.
ИГД им. Д. А. Кунаева, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В статье дан анализ и оценка перспектив развития горных геотехнологий подземной и открытой разработки недр, ПСВ металлов, подземной скважинной гидродобычи (ПСГД), кучного выщелачивания (КВ) и нового направления в издании супергеотехнологии.

Ключевые слова: ПГР – подземные горные работы, ОГР – открытые горные работы, ПСВ – подземное скважинное выщелачивания, КВ – кучное выщелачивание, супергеотехнология.

С постоянным обеднением содержания металла в рудах и с увеличением глубин разработки на поверхность выдаются огромные объемы пород, которые существенно ухудшают экологическую обстановку в горнодобывающих регионах.

К настоящему времени действуют всего пять типов геотехнологий:
— открытые горные работы (ОГР);
— подземные горные работы (ПГР);
— подземное скважинное выщелачивание (ПСВ);
— подземная скважинная гидродобыча (ПСГД);
— кучное выщелачивание (КВ).

Кроме того, существуют различные комбинации из указанных геотехнологий.

Нами на базе математического моделирования всех пяти геотехнологий произведена их оценка по двум главным критериям:
— адаптации к внешней среде;
— вероятность проявления катастрофических отказов.

По этой проблеме в ближайшее время совместно с Российскими учеными выйдет в свет фундаментальная монография, «Теория катастроф и горные геотехнологии» объемом более 300 страниц. В ней представлены основные результаты оценки пяти геотехнологий по указанным критериям. Здесь однозначно установлен следующий порядок геотехнологий, самые опасные и малоадаптивные – ПГР. Здесь только одно обязательное присутствие людей в подземных выработках приводит к большим трудностям создания хотя бы сколько-нибудь безопасных условий их пребывания.

Здесь число пересекающихся параметров геотехнологии со средой и человеком достигает нескольких сотен. И при всех достижимых условиях и норм на множестве пересекающихся параметров нет возможности исключить катастрофы и негативные явления.
На втором месте по сложности, адаптивности и вероятности проявления катастрофических отказов располагаются геотехнологии ОГР. Здесь число пересекающихся параметров при взаимодействии со средой и человеком оценивается на несколько порядков ниже чем ПГР и находится в пределах нескольких десятков.

Следующие геотехнологии ПСВ и ПСГД относятся к высокоадаптивным и практически исключающим проявление катастрофических отказов при взаимодействии со средой и человеком. Здесь число параметров при взаимодействии этих подсистем находится в пределах одного десятка.

И, наконец, последняя геотехнология КВ обладает максимальной адаптацией к среде и человеку, потому что она вся относится к искусственным, созданным самим человеком системам. Эта геотехнология может быть полностью автоматизирована и переведена на компьютерное оптимальное управление, хотя бы потому, что штабель руды также творение человека, тогда как среда во всех рассмотренных выше геотехнологиях – природное создание.

Для нашей аудитории настоящей конференции интерес представляет высокая геотехнология – подземного скважинного выщелачивания урана и сопутствующих элементов. Далее в докладе мы остановимся на этой геотехнологии и весьма кратко на геотехнологиях КВ и ПСГД.

Начиная с 1999 года, нами были получены новые фундаментальные закономерности подземного скважинного выщелачивания металлов и практические необходимые результаты:

1. для полного гидродинамического расчета взаимодействующих технологических скважин с использованием принципа суперпозиции потенциальных полей напоров (компрессий и депрессий) любого блока или участка месторождения с числом $N_{зс}$ – закачных и $N_{ос}$ – откачных скважин, сложная система линий (трубок) тока выщелачивающих растворов (ВР) отображается на сетевом графе G = (U, Г), где U полное число дуг графа. Каждая дуга графа оценивается гидродинамическим сопротивлением, или проводимостью, или потерей напора в системе трубопроводов на поверхности; источники напоров на закачных скважинах представляются характеристиками с постоянным напором для самоналива ВР или аналитическими зависимостями в координатах (H, Q) – для насосов закачных и откачных скважин;
2. при плоскорадиальной фильтрации растворов в пористой среде в системе закачных и откачных скважин любого блока или участка месторождения урана доказано существование объективной закономерности близкодействия скважин в ячейке, которая базируется на слабом изменении функции натурального логарифма от отношения радиуса питания скважин к радиусу технологической скважины, а также на квадратичной зависимости от радиуса ячейки времени фильтрации раствора для любой пары закачных и откачных скважин;
3. установлено, что абсолютная величина напоров – компрессии на закачных скважинах и депрессии на откачных по критерию прибыль имеет оптимальное значение, определяемое сложной многофакторной зависимостью, распределенной по экспоненциальной функции;
4. установлены время закисления и выщелачивания блоков до любого проектного значения коэффициента извлечения урана по выведенным нелинейным многофакторным зависимостям для всех известных схем формирования ячейки – треугольной, квадратной, четырехугольной, гексагональной;
5. получена модель концентрации урана в продуктивном растворе на любой откачной скважине или в блоке, которая описывается сложной экспоненциальной по времени – *t* и параметру *f*(Ж:Т) функцией, достигающей максимального значения через некоторое время, равной второй кинетической константе;

6. определены удельные расходы кислоты, измеряемые тремя величинами: кг на кг добытого урана, кг на 1т проработанной раствором рудной массы и мг на 1 литр выщелачивающего раствора. Эти закономерности описываются сложными нелинейными двух и трех экспоненциальными по времени зависимостями и нелинейно увязаны с основными природными параметрами – продуктивностью и эффективной мощностью пласта, плотностью пород и природно-технологическими – отношением Ж:Т, кинетическим параметром выщелачивания.

Казахстан занимает первое место в мире по запасам урана - 24% от мировых и добывает в настоящее время более 25 тыс.т. из 50 тыс.т. урана добываемых в мире. В этой связи был придан мощный импульс развития горных наук в Казахстане в области геотехнологии металлов. За этот период нами были проведены исследования по семи темам, в ходе реализации которых были получены фундаментальные научные результаты для:

— гидродинамических расчетов сложных сетей ПСВ металлов (урана);
— оптимизации схем вскрытия пластовых месторождений скважинами с различными геометрическими параметрами ячейки;
— оптимизации напоров на закачных и откачных скважинах;
— расчета дебитов ЗС и ОС для различных схем вскрытия;
— математического моделирования кинетики и гидродинамики ПСВ металлов и оптимизации расхода реагентов;
— обоснования оптимального бортового содержания урана в рудах месторождения;
— обоснование инновационной геотехнологии ПСВ урана для любых сложных по залеганию месторождений.

В результате исследований были достигнуты значительные результаты в области фундаментальных знаний взаимодействия искусственных гидродинамических систем подземного скважинного выщелачивания металлов с естественными гидродинамическими системами в массиве горных пород продуктивных пластов.

В частности созданы физические модели диффузионного растворения и фильтрационного переноса выщелачивающих растворов для продуктивных пластов, залегающих в сложных горно-геологических условиях.

Впервые созданы математические модели и выведены аналитические зависимости для плоскорадиального фильтрационного потока и вертикального под действием динамического напора и сил гравитации в осложненных условиях, разработаны расчетные модели векторного поля скорости фильтрации плоскорадиального и вертикального потоков в продуктивном пласте без водоупоров.

Впервые обоснованы способы адаптации геотехнологических систем подземного скважинного выщелачивания к реальным условиям залегания продуктивных пластов, выделены критерии сложности и их технологические признаки для адаптации геотехнологии к среде при растекании растворов.

Даны технологическая и критериальная оценки возможных способов адаптации подземного скважинного выщелачивания металлов к реальным условиям залегания продуктивных пластов.

Разработана с обоснованием параметров инновационная геотехнология подземного скважинного выщелачивания из продуктивных пластов, не имеющих водоупоров, исследованы режимы процесса подземного выщелачивания металлов в зависимости от принятых критериев сложности продуктивных пластов и даны обоснования способа адаптации инновационной геотехнологии для различных режимов выщелачивания в зависимости от критериев сложности пластов.

Произведено исследование параметров деформации векторного поля фильтрации растворов в висячих продуктивных пластах и породах для новой геотехнологии в зависимости от расположения верхнего и нижнего водоупоров в водоносном горизонте и расположения фильтровых колонн.

В настоящее время нами обоснована и запатентована новая геотехнология кучного выщелачивания полезных ископаемых с управляемыми фильтрационными потоками растворов в штабеле руды, позволяющая сократить сроки выщелачивания и обеспечить круглогодичную их эксплуатацию.

Получены определенные результаты в подземной скважинной гидродобыче полезных ископаемых. Добыча полезного ископаемого начинается с одновременным включением нагнетательных и добычных скважин.

Через нагнетательные скважины под определенным динамическим напором – $S_н$ подается вода. При известном расходе подачи воды $Q_{нс}$, который определяется в проекте, исходя из производительности гидрониторов и аэрлифтов величину напора определим по нашей формуле:

$$S_{\text{н}} = \frac{13{,}7 \cdot Q_{HC}\left(\ell nR_{\text{о}} - \ell nR_{\text{с}}\right)}{\overline{K}_{\Phi} \cdot M_{\text{э}}} \text{ м вод. ст.}$$

где R – радиус ячейки, м;
R_0 – радиус фильтровой колонны, м;
$K_ф$ - среднее значение коэффициента фильтрации продуктивного пласта м/сутки при его мощности $M_э$, м.

При работе блока, в котором имеется система $N_{дс}$ и $N_{нс}$ обязательно должен соблюдаться баланс закачиваемой воды и воды в пульпе, которая выдается аэрлифтами:

$$\sum_{j=1}^{N_{HC}} Q_{HCJ} = \sum_{j=1}^{N_{\partial C}} Q_{GI}$$

где Q_{GI} – объем расхода жидкости – воды в пульпе, м^3/сут.

Как и для ПСВ металлов здесь имеет место оптимизационная задача по определению радиуса и площади ячейки через соответствующую математическую модель.

Находим оптимальное решение:

$$R_{\hat{i}} = \sqrt[4]{\frac{S_{bl} \cdot C_{CKB} \cdot H \cdot \left(n+1\right)}{C_{\text{к}} \cdot n \cdot C_{\text{э}}}} \text{ м}$$

Оптимальная площадь ячейки определяется по формуле:

$$S_o = \theta \cdot R_o^2 \text{, м}^2$$

где θ - геометрический параметр, θ = {2,6; 2,0; 1,6; 1,3}.

Оптимальное число скважин определится в виде:

$$N_{\hat{\partial}c} = \frac{S_{\text{bl}}}{\theta \cdot R_o^2} \quad N_{\text{нс}} = \frac{S_{\text{bl}} \cdot n}{\theta \cdot R_o^2}$$

общее число скважин:

$$N = \frac{S_{\text{bl}}}{\theta \cdot R_o^2}\left(1+n\right)$$

Для каждого конкретного месторождения, которое будет разрабатываться способом ПСГД, все перечисленные параметры определяются при проектировании рудников

Для окончательного выбора геометрии ячейки необходимо определить значения критерия оптимальности для принятых оптимальных радиусов ячеек и из этого множества выбрать минимум. Это и будет окончательным решением о схеме вскрытия месторождения для ПСГД.

$$\min\left\{J_{o.1}; J_{o.2}; J_{o.3}; J_{o.4}\right\}$$

Для управления геомеханическими процессами при ПСГД рассмотрим простейшую классификацию по устойчивости пород продуктивного пласта:

— гидрогенные месторождения;
— скальные породы;
— сыпучие и слабые по прочности породы.

При наличии гидрогенных месторождений практически нет проблем, так как между водоупорами всегда будет вода и она как упругая среда будет противостоять обрушениям налегающей толщи пород при наличии водоупора – верхнего и нижнего.

СКАЛЬНЫЕ ПОРОДЫ – СЛАБОПРОНИЦАЕМЫЕ ДЛЯ ВОДЫ

При этом извлеченный объем полезного ископаемого заменяется водой, и поэтому устойчивость пород будет обеспечена. Поверхность оказывается вне опасности и не обрушается.

Наиболее сложным оказывается сохранение массива и, следовательно, технологических скважин при наличии сыпучих и слабых по прочности пород.

Эти сложнейшие задачи геомеханических процессов, которые будут сопровождать ПСГД в неустойчивых породах никто пока теоретически не изучал [1,2]. Накопленный опыт ПСГД, изложенный в известных работах [2] и др. пока не достаточен для однозначного ответа на многочисленные задачи геомеханики.

В качестве частичной компенсации предстоящих деформационных процессов пород кровли можно предложить заполнение камер хвостами обогащения или иным измель-

ченным твердым материалом, подаваемым по скважинам в выработанные пространства отработанных блоков.

За время работы над проблемами новых геотехнологий нами издано 11 монографий:

1. ***Рогов Е.И., Рогов С.Е., Рогов А.Е***. Начала основ теории технологии добычи полезных ископаемых. Монография, Алматы: КазгосИНТИ, 2001. - 225 с.
2. ***Рогов Е.И., Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н., Рогов А.Е.*** Геотехнология урана на месторождениях Казахстана. Монография, Алматы, 2001, - 444 с.
3. ***Рогов Е.И., Рогов А.Е., Язиков В.Г.*** Математическое моделирование в горном деле (геотехнология металлов). Монография, Алматы: КазгосИНТИ, 2002. - 216 с.
4. ***Рогов Е.И., Язиков В.Г., Рогов А.Е.*** Геотехнология металлов, Алматы, 2005, FORTRESS, 393 с.
5. ***Рогов А.Е.,*** Имитационное математическое моделирование, Алматы, 2007, FORTRESS, 96 с.
6. ***Рогов А.Е., Рыспанов Н.Б.*** Математические основы геотехнологий, Алматы, 2007, FORTRESS, 367 с.
7. ***Рогов А.Е., Жатканбаев Е.Е.*** «Кинетика подземного скважинного выщелачивания урана», Алматы, 2009, «Комплекс», 204 с.
8. ***Рогов Е.И., Рогов С.Е., Рогов А.Е.*** Теория геотехнологий, Алматы, 2010, FORTRESS, 355 с.
9. ***Рогов Е.И., Рогов А.Е., В.Д. Югай*** Теория кондиций, Алматы, 2012, КазНТУ, 215 с.
10. ***Рогов Е.И., Рогов А.Е., Орынгожин Е.С.*** Теория заводнения в нефтедобыче, Алматы, 2012, «Шынгыстау», 240 с.
11. ***Рогов А.Е., Сабирова Л.Б.***, Теория восстановления пластовых вод, Алматы, 2013, «ALESHAN», 153 с.

Получено 10 свидетельств объектов интеллектуальной собственности, более 30 патентов и предпатентов Республики Казахстан, ряд из которых внедрен на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана с большим экономическим эффектом. Так, только для блоков 1-14С1, 1-9С1 месторождения Мынкудук общий эффект составил более 4 млн. $, а по скважинам 900 тыс. $ за счет применения гексагональной схемы вскрытия и отработки блоков с оптимальным радиусом и площадью ячейки вместо запроектированной ранее рядной схемы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Аренс В.Ж.*** Физико-химическая геотехнология. М., МГГУ, 2001, 656 с.
2. ***Бабичев Н.И., Николаев А.Н.*** Скважинная гидравлическая технология – основа высокоэкономичных малых предприятий по добыче твердых полезных ископаемых. Горный журнал, № 4, 1996.

ИННОВАЦИОННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ ПРИ ПСВ МЕТАЛЛОВ

УДК 622. 772

Рогов А.Е., Багашарова Ж.Т., Азимхан К.А., Гуменюк В.В.
ИГД им. Д.А. Кунаева, Алматы, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время имеется значительный накопленный опыт одновременной отработки нескольких блоков одного или ряда участков месторождений. При этом суммарная функция $C_{пр}(t)$ – содержания урана в продуктивном растворе (ПР) складывается без управления, т.е. стихийно на всем периоде отработки месторождений. При этом, учитывая нелинейную с максимумом $\hat{C}_{пр}$ кривую $C_{пр}(t)$ на времени, содержание урана в ПР, поступающем на сорбционные колонны колеблется в широких пределах. Кроме того, при уменьшении содержания урана в ПР существенно по экспоненциальному закону увеличивается себестоимость металла, т.е. [1].

Интуитивно ясно, что совмещая работу нескольких блоков по некоторой пока неизвестной временной схеме их включения, можно достичь два существенных эффекта:

— выровнять содержание урана в ПР до максимально возможной величины $\bar{C}_{пр}$;
— повысить содержание урана в ПР также до некоторой максимально возможной величины.

При достижении указанных только двух эффектах существенно снижается себестоимость урана в соответствии с закономерностью [1] и улучшается работа сорбционных колонн, так как на входе поступает ПР с постоянным содержанием урана.

Помимо этого, исходя из установленного порядка включения в работу ряда блоков по определенной временной схеме, необходимо будет установить их оптимальное число, площади блоков, число откачных и закачных скважин и т.д.

Так как в известных источниках не встречаются какие-либо решения по оптимизации совместной работы блоков, кроме нашего изобретения «Способ совместной отработки блоков при ПСВ металлов» от 13.09.01, по которой получен предпатент РК № 12633, авторы Язиков В.Г., Рогов Е.И. и др.

Эта работа является прототипом для предлагаемого нового способа совместной отработки блоков, суть которого изложена ниже и сфера нового способа значительно расширяется для повышения эффективности отработки блоков.

При отработке пластово-инфильтрационных месторождений урана и сопутствующих ему металлов в одновременной эксплуатации может быть различное число блоков на одном конкретном руднике ПСВ. Нами доказано, что производительность каждого блока по металлу отражает кривую распределения его концентрации по времени, которая описывается следующей экспоненциальной функцией [2]:

$$C_{\text{ПР}}(t) = \frac{e \cdot (t - t_3) \cdot \hat{C}_{\text{ПР}}}{C_1} e^{(t-t_3)/C_1} \qquad (1)$$

где t – текущее время отработки блока, годы;

$t_з$ – время закисления блока, годы; причем $t_з$ – время вытеснения раствором пластовых вод в объеме одного порового пространства продуктивного горизонта в блоке;

C_1' – кинетический параметр, определяемый статистическим путем, измеряемый в годах;

$\hat{C}_{пр}$ – максимальная концентрация металла в ПР, которая определяется по нашей формуле [1] для гексагональной ячейки:

$$\hat{C}_{\text{ПР}} = \frac{98 \cdot C_1 \cdot \overline{m} \cdot R_o^2 \left(\ell n \, R_o / R_c + S_к \right)}{\overline{K}_ф \cdot M_э \cdot \left(n S_н + S_о \right)} \text{ мг/л} \qquad (2)$$

где $\overline{m}$ – среднее значение продуктивности пласта в блоке, кг/м^2;

R_o – оптимальный радиус ячейки, м;

R_c – радиус технологических скважин, м;

$\overline{K}_ф$ – среднее по блоку значение коэффициента фильтрации, м/сут;

$M_э$ – эффективная мощность пласта, м;

$S_н$, $S_о$ – компрессия на закачной и депрессия на откачной скважинах, м вод. ст.;

$S_к$ – показатель скин-эффекта на скважинах, безразмерная величина;

n – параметр отношения числа закачных к числу откачных скважин к в блоке;

C_1 – кинетический параметр для уравнения коэффициента извлечения.

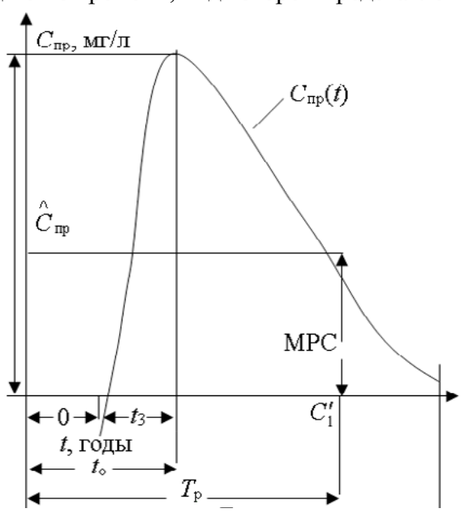
$$\varepsilon(t) = 1 - \frac{1}{e^{C_1 t}} \qquad (3)$$

t – время отработки блока, годы.

Причем установлено [2], что:

$$C_1' = \frac{0{,}386}{C_1} \quad \text{или} \quad C_1 = \frac{0{,}386}{C_1'} \qquad (4)$$

Из формулы (1) следует, что кривая продуктивности ПР $C_{пр}(t)$ описывает сложную функцию по времени, вид которой представлен на фиг.1.



Фигура 1. Распределение концентрации $C_{пр}(t)$ металла от времени (t) по блоку:

$t_з$ – время закисления блока;

$T_р$ – время отработки блока до МРС;

$T_э$ – время отработки блока до проектного уровня извлечения $\varepsilon_о$;

МРС – минимально рентабельное содержание $C_{пр}$, мг/л.

Анализ уравнения (1) показывает, что при эксплуатации отдельного блока добыча металла из любой ячейки (откачной скважины) вначале растет до максимума и некоторое время остается постоянной, а затем медленно или быстро в зависимости от параметра C_1' падает. Известна также ранее установленная зависимость себестоимости металла – C_U от концентрации металла в ПР [2]:

$$C_U = a_2 \cdot e^{-b_2 C_{\text{ПР}}} \qquad (5)$$

где a_2 и b_2 некоторые постоянные для конкретного рудника величины. Так для рудников ПС урана НАК «Казатомпром» эти зависимости приведены ниже.

ПВ-1 (Ю. Карамурун):	$C_U = 32{,}4 \, e^{-0{,}01129y}$	
ПВ-2 (С. Карамурун):	$C_U = 29{,}3 \, e^{-0{,}00757y}$	
ПВ-5 (Канжуган):	$C_U = 35{,}8 \, e^{-0{,}0022y}$	(6)
ПВ-17 (Уванас):	$C_U = 28{,}8 \, e^{-0{,}0177y}$	
ПВ-19 (Мынкудук)	$C_U = 27{,}0 \, e^{-0{,}0173y}$	

Из уравнений (1), (6) следует, что себестоимость металла резко возрастает после прошествия времени $t_0 = t_з + C_1'$ лет и добыча из каждого отдельного блока через некоторое время $T_р < T_э$ становится не рентабельной.

Ранее [3] нами был предложен способ попарной отработки блоков при определенном порядке их включения, который частично снял проблему преждевременной остановки блока через $T_р$, приводящей к большим потерям металла.

Таким образом, известные способы совместной отработки блоков на месторождении обладают существенными недостатками:

— с падением продуктивности раствора $C_{пр}(t)$ со временем увеличивается себестоимость металла и соответственно уменьшается прибыль;

— отработка блоков до проектного уровня извлечения - $\varepsilon_о$ становится не выгодной, а преждевременная остановка их ведет к большим потерям металлов в недрах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью устранения указанных недостатков предлагается новый порядок совместной отработки блоков, обеспечивающий максимальное значение прибыли на весь период отработки месторождения или его части.

Сущность нового способа управления порядком и временем совместной отработки блоков состоит в следующем.

Интуитивно ясно, что чем большее число блоков включить в одновременную отработку в разные интервалы времени, тем выше будет значение средней продуктивности на этом времени.

Для отыскания оптимального порядка отработки блоков, обеспечивающего максимальную прибыль, введем новую переменную $\overline{C}_{пр}$ в виде:

$$t_j = \theta \cdot C_1' + t_3 \quad \text{или} \quad \theta = \frac{t_j - t_3}{C_1'} \qquad (7)$$

где θ – некоторая положительная величина.

Подставляя (7) в уравнение (1), получим новое уравнение для продуктивности раствора:

$$C_{\text{ПР}}(\theta) = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \frac{e \cdot \theta \cdot C_1'}{C_1'} \cdot e^{-\theta \cdot C_1' / C_1'} = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \theta \cdot e^{-\theta+1} \quad \text{мг/л}$$

или

$$C_{\text{ПР}}(\theta) = e \cdot \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \theta \cdot e^{-\theta} \ \text{мг/л} \qquad (8)$$

Определим среднее значение $\overline{C}_{npj}$ продуктивности раствора по любому блоку в виде:

$$\overline{C}_{\text{ПР}} = \frac{1}{\theta_1 - \theta_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} e \cdot \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \theta \cdot e^{-\theta} d\theta \ \text{мг/л} \qquad (9)$$

Примем последовательность значений параметра θ через единицу, т.е.

$$\theta = 0, 1, 2, 3, \ldots, N$$

Тогда подставляя пределы в интеграл (9), после несложных преобразований будем иметь по участкам следующие средние значения $\overline{C}_{npj}$:

$$\left.\begin{aligned}
&0-1: \overline{C}_{\text{ПР}} = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot (e-2) = 0{,}72\,\hat{C}_{\text{ПР}} \\
&0-2: \overline{C}_{\text{ПР}} = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \left(2 - \frac{3}{e}\right) = 0{,}9\,\hat{C}_{\text{ПР}} \\
&2-3: \overline{C}_{\text{ПР}} = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \left(\frac{3}{e} - \frac{4}{e^2}\right) = 0{,}49\,\hat{C}_{\text{ПР}} \\
&3-4: \overline{C}_{\text{ПР}} = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \left(\frac{4}{e^2} - \frac{5}{e^3}\right) = 0{,}29\,\hat{C}_{\text{ПР}} \\
&4-5: \overline{C}_{\text{ПР}} = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \left(\frac{5}{e^3} - \frac{6}{e^4}\right) = 0{,}13\,\hat{C}_{\text{ПР}} \\
&5-6: \overline{C}_{\text{ПР}} = \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \left(\frac{6}{e^4} - \frac{7}{e^5}\right) = 0{,}083\,\hat{C}_{\text{ПР}}
\end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Значения функции распределения $C_{\text{ПР}}(\theta) = e \cdot \hat{C}_{\text{ПР}} \cdot \theta \cdot e^{-\theta}$ являются универсальными для любых значений – $\hat{C}_{пр}$ любых блоков и участков. При этом $\hat{C}_{пр}$ определяется по формуле для гексагональных ячеек и для любых других [2]:

$$\hat{C}_{\text{ПР}} = \frac{37{,}7 \cdot \alpha \cdot C_1 \cdot \overline{m} \cdot R_o^2 \left(\ell n \, R_o / R_c + S_{\text{k}}\right)}{\overline{K}_{\Phi} \cdot M \cdot \left(n S_{\text{н}} + S_o\right)} \ \text{мг/л} \qquad (11)$$

где α – параметр геометрии ячейки, определен для любых их видов в [2].

Текущее время t определяется по формуле:

$$t = \theta \cdot C_1' + t_3 \ \text{годы} \qquad (12)$$

где θ – параметр > 0 и $t_з$ – время закисления ячейки, годы, которое определяется по нашим формулам [2].

Принимается следующий порядок включения блоков к отработке на данном конкретном месторождении или его участке с равными параметрами по площади блоков – $S_{бл}$ и числу откачных скважин в блоке – $N_{ос}$.

Пусть первый блок включается во времени $\theta = 0$, т.е. после времени закисления tз, тогда второй блок включается в работу через $\theta = 1$, третий – через $\theta = 2$ и т.д. После некоторого интервала приведенного времени $\theta_э$, например $\theta_э = 5$ первый блок будет отработан до коэффициента извлечения, равного

$$\varepsilon_5 = 1 - \frac{1}{e^{C_1'(5C_1' + t_3)}} \geq \varepsilon_{\text{П}} \qquad (13)$$

где ε_n – проектное извлечение металла из недр.

При включении шестого, седьмого и любого числа последующих к отработке блоков происходит стабилизация среднего содержания металла в растворе (см. фиг. 2). Этим достигается важный эффект, т.е.

$$\overline{C}_{\text{ПР}}^{0} = \xi \cdot \hat{C}_{\text{ПР}} \qquad (14)$$

где $\xi > 0$ и она будет равна:

для участка 0-1: $\xi = 0{,}72$ – один блок;
для участка 1-2: $\xi = 0{,}81$ – два блока;
для участка 2-3: $\xi = 0{,}70$ – три блока;
для участка 3-4: $\xi = 0{,}60$ – четыре блока;
для участка 4-5: $\xi = 0{,}5$ – пять блоков.

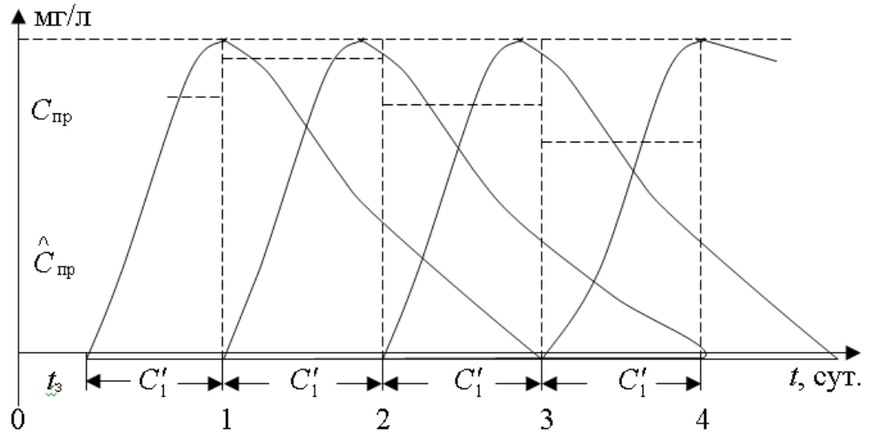
Для всех последующих участков $\xi = 0{,}5$ и становится постоянной величиной.

Если процесс выключения блоков остановить на четвертом, то

$$\xi = 0{,}6 = \text{const} \qquad (15)$$

а если на шестом, то

$$\xi = 0{,}44 \qquad (16)$$



Фигура 2. Последовательность включения блоков по времени через время C_1' 0-1; 1-2; 2-3; 3-4 и т.д. участки временных интервалов для прогноза средних значений – $\overline{C}_{пр}$; - - - - - средние значения $\overline{C}_{пр}$ на участках

Практически в зависимости от значений параметров C_1, C_1' и $t_з$ блоки можно отключать от четвертого, пятого и редко шестого.

Таким образом, достигается два основных эффекта при указанной последовательности включения и отключения блоков:

— значение концентрации металла $\overline{C}_{пр}$ в растворе, поступающем на сорбционные колонны постоянное, что обеспечивает идеальное течение процесса сорбции при необходимых параметрах колонны и сорбента;

— значение $\overline{C}_{пр}$ концентрации металла увеличивается и всюду после максимума кривой $\hat{C}_{пр}$ больше 0,5 $\hat{C}_{пр}$ или 0,44 $\hat{C}_{пр}$, что существенно снижает себестоимость металла.

Известно [2], что себестоимость 1 кг металла после сорбционной колонны подчинено уравнению:

$$C = a_2 \cdot e^{-b_2 \overline{C}_{ПР}} \quad \$/кг \qquad (17)$$

где a_2 и b_2 – постоянные коэффициенты, значения которых приведено в [1].

С учетом (14) из (17) получается:

$$C = a_2 \cdot e^{-b_2 \xi \hat{C}_{ПР}} \quad \$/кг \qquad (18)$$

При этом способе отработки блоков их число одновременно находящихся в работе определяется по формуле:

$$N_{бл} = \frac{T_э}{C_1' + t_3} \qquad (19)$$

где $N_{бл}$ округляется до целого числа;

$$T_э = \frac{0{,}416 \cdot R_o^2 \cdot \rho_п \cdot f_п}{\beta_п \cdot \overline{K}_Ф \cdot (nS_н + S_o) \cdot \ell n\left(\ell n \frac{R_o}{R_c}\right)} \text{ лет} \qquad (20)$$

где $\rho_п$ – плотность пород продуктивного пласта, т/м^3;

$f_п$ – проектное значение Ж:Т;

$\beta_п = \frac{0{,}675}{f_п}$ - проектное значение параметра β;

Площадь одного блока составит:

$$S_{бл} = N_{ос} \times S_я, \text{ м}^2 \qquad (21)$$

где

$$S_я = \alpha \times R_0^2, \text{ м}^2 \qquad (22)$$

α - параметр площади [2].

Суточная добыча металла из одной ячейки составит:

$$q = \frac{Q_{ос} \cdot 10^3 \cdot \overline{C}^o_{ПР}}{10^6} = Q_{ос} \cdot \overline{C}^o_{ПР} \cdot 10^{-3} \text{ кг} \qquad (23)$$

При заданной суточной производительности рудника ПСВ число ячеек или откачных скважин выразится:

$$N_{ос} = \frac{A_{сут}}{q} = \frac{10^3 \cdot A_{сут}}{Q_{ос} \cdot \overline{C}^o_{ПР}} \qquad (24)$$

Подставляя из (18) в (24), получим:

$$N_{ос} = \frac{10^3 \cdot A_{сут}}{Q_{ос} \cdot 0{,}536 \hat{C}_{ПР}} = 2000 \frac{A_{сут}}{Q_{ос} \cdot \hat{C}_{ПР}} \qquad (25)$$

Площадь блока из (21) с учетом (22) и (25) составит:

$$S_{бл} = \alpha \cdot R_o^2 \frac{2000 \cdot A_{сут}}{Q_{ос} \cdot \hat{N}_{ПР}} \text{ м}^2 \qquad (26)$$

и площадь участка месторождения для одновременной работы $N_{бл}$ из (19) составит:

$$S_М = \frac{2000 \cdot \alpha \cdot R_o^2 \cdot A_{сут}}{Q_{ос} \cdot \hat{N}_{ПР}} \cdot \frac{T_э}{C_1' + t_3} \text{ м}^2 \qquad (27)$$

где время закисления блока определяется по нашей формуле (гексагональная схема) [2]:

$$t_3 = \frac{0{,}416 \cdot R_o^2 \cdot \overline{K}_п}{\overline{K}_Ф \cdot S_н \cdot \ell n \cdot \left(\ell n \frac{R_o}{R_c}\right)} \text{ лет} \qquad (28)$$

Для иллюстрации эффективности нового способа совместной отработки блоков рассмотрим на примере месторождения Мынкудук.

Исходные данные для проекта R_o = 50 м; m = 5,2 кг/м^2; R_c = 0,06 м; $S_к$ = 0; $K_ф$ = 10,9 м/сут; $M_э$ = 12 м; n = 3,14; $S_н$ = 70 м; S_o = 5 м; C_1 = 0,52; $C_1' = \frac{0{,}386}{C_1} = 0{,}74$; $\rho_п$ = 1,7 т/м^3; $f_п$ = 2,5; $\beta_п$ = 0,27; $\overline{K}_П$ = 0,2; $A_{сут}$ = 1000 кг/сут.

Определяется число совместно отрабатываемых блоков для времени отработки до проектного извлечения $\varepsilon_п$. Время эксплуатации блока:

$$T_э = \frac{0{,}416 \cdot 2500 \cdot 1{,}7 \cdot 2{,}5}{0{,}27 \cdot (3{,}14 \cdot 70 + 5) \cdot 1{,}82} = 3{,}7 \text{ года}$$

Время закисления блока по (28):

$$t_3 = \frac{0{,}416 \cdot 2500 \cdot 0{,}2}{10{,}9 \cdot 70 \cdot 1{,}82} = 0{,}15 \text{ лет}$$

Из (19) имеем:

$$N_{бл} = \frac{T_э}{0{,}74 + 0{,}15} = \frac{3{,}7}{1{,}18} = 4{,}1$$

Принимаем 4 блока.

Площадь одной ячейки $S_ô$ = 2,6 × 2 500 = 6 500 м^2.

Значения продуктивности раствора при совместной работе 4-х блоков и главные параметры:

$$q = Q_{ос} \cdot \overline{C}^0_{ПР} \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$\hat{C}_{\text{ПР}} = \frac{98 \cdot 5{,}2 \cdot 2500 \cdot 0{,}52 \cdot \left(\ell n \, {}^{50}\!/_{0{,}06} + 0 \right)}{10{,}9 \cdot 12 \cdot 224{,}8} = 151 \quad \text{мг/л}$$

$$\overline{C}^{o}_{\text{ПР}} = 0{,}5 \cdot \hat{C}_{\text{ПР}} = 75{,}5 \ \text{мг/л}$$

$$Q_{oc} = \frac{1{,}157 \cdot 2\pi \cdot 10{,}9 \cdot 12 \cdot 224{,}8}{670} = 319 \ \text{м}^3/\text{сут}$$

$$q = 319 \times 75{,}5 \times 10^{-3} = 24{,}1 \ \text{кг/сут}$$

Число откачных скважин в четырех блоках:

$$N_{oc} = \frac{1000}{24{,}1} = 42$$

Число закачных скважин:

$$N_{3c} = n \times N_o c = 3{,}14 \times 42 = 132$$

Общее число скважин:

$$N = 174 \text{ скважины}$$

Площадь блока:

$$S_{\delta_\Lambda} = \frac{42 \cdot 6500}{4} = 68\,250 \ \text{м}^2$$

Площадь участка, месторождения для совместно работающих 4-х блоков

$$S_M = 4 \times S_{бл} = 273\,000 \ \text{м}^2$$

Экономические показатели отработки при последовательной отработке блоков.

Суточная добыча из 4-х блоков составит:

$$A^0_{сут} = 42 \times 24{,}1 = 1\,012 \ \text{кг}$$

Себестоимость добычи урана при совместной отработке 4-х блоков составит при $C^0_{пр} = 75{,}5$:

$$C_o = 27{,}0 \cdot e^{-0{,}0173\overline{C}^{o}_{\text{ПР}}} \quad \$/\text{кг}$$

$$C_o = 27{,}0 \cdot e^{-1{,}3} = 7{,}35 \quad \$/\text{кг}$$

Годовая прибыль по руднику составит:

$$\text{П}_o = 1\,012 \times 365 \times (12{,}7 - 7{,}35) = 2\,714\,943 \ \$ \ \text{США}$$

При последовательной отработке средняя максимальная продуктивность за 4 года отработки составит:

$$\overline{C}_{\text{ПР}} = \frac{e \cdot C_1^{'} \cdot \hat{C}^{o}_{\text{ПР}}}{T_э} = \frac{2{,}72 \cdot 0{,}52 \cdot 151}{4} = 53 \ \text{мг/л}$$

Себестоимость металла при последовательной отработке блоков составит:

$$C_1 = 27{,}0 \times e^{-0{,}0173 \times 53} = 10{,}9 \ \$/\text{кг}$$

Годовая прибыль при последовательной отработке блоков:

$$\text{П}_1 = 1\,012 \times 365 \times (12{,}7 - 10{,}9) = 664\,884 \ \$/\text{год}$$

Экономический годовой эффект от применения нового способа отработки блоков составит:

$$Э = П_o - П_1 = 2\,714\,943 - 664\,884 = 2\,050\,059 \ \$ \ \text{США}$$ или 320 млн. тенге.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Spravochnik po geotehnologii urana. M: Nedra, 1989. – 672 s.
2. ***Yazikov V.G., Zabaznov V.L., Petrov N.N., Rogov E.I., Rogov A.E.*** Geotehnologiya urana na mestorozhdeniyah Kazahstana. Almaty, 2001. – 442 s.
3. *Yazikov V.G., Rogov E.I. i dr.* Sposob sovmestnoi otrabotki blokov pri PSV metallov. Pradpatent RK № 12633.

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ПСВ МЕТАЛЛОВ С КУСТОВЫМ СПОСОБОМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДОБЫЧНЫХ СКВАЖИН

УДК 622.775

Рогов Е.И., Азимхан К.А., Багашарова Ж.Т., Гуменюк В.В.
ИГД им. Д.А. Кунаева, Алматы, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Закономерное вовлечение в разработку бедных гидрогенных месторождений неизбежно приводит к повышению стоимости добываемых полезных ископаемых. Это относится ко всем полезным ископаемым, в том числе и к новому виду энергетического топлива – урану, причем к нему в большей мере, поскольку атомная энергетика развивается очень быстрыми темпами.

В связи с чем, автор производит анализ предлагаемой системы разработки и обоснование ее применения по сравнению с гексагональной и прямоугольной (шахматной) системами разработки (рис.1).

В данной работе предлагается квадратная система разработки, совмещенным (кустовым) расположением закачных скважин (ЗС), которая ранее не было применена и освящена в известных и специальных литературах. В связи с чем, автор предлагает совершенно новую, неиспытанную на опытно-промышленном уровне систему разработку для подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана.

Данная система является разновидностью квадратной системы разработки, которые были опробованы в нашем урановом производстве и других странах, занимающих разработкой гидрогенных месторождений урана.

Особенность предлагаемой системы разработки является то, что закачные (нагнетательные) скважины расположены совмещено (кустами) по краям квадрата, по середине которого расположена откачная скважина (ОС).

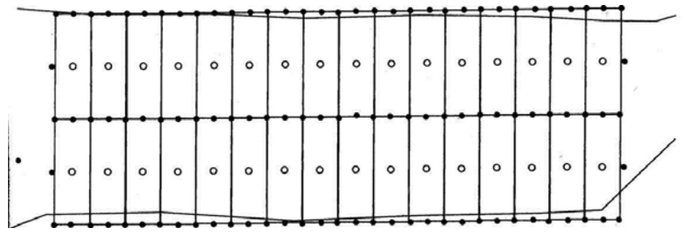
Как видно из рисунка 1, совмещенные 4 ЗС располагаются внутри рудного тела, а в контурах рудного тела расположены по 2 ЗС, т.к. это уменьшает объем закисляемой горнорудной массы, за счет уменьшения площади растекания растворов, которое приведет к уменьшению удельных затрат на реагент (кислота).

Также известно из [1], что при кустовом расположении ЗС или ОС резко повышается их эффективность, т.к. куст скважин при определенном приведенном расположении Rпрс работает как отдельная большая скважина.

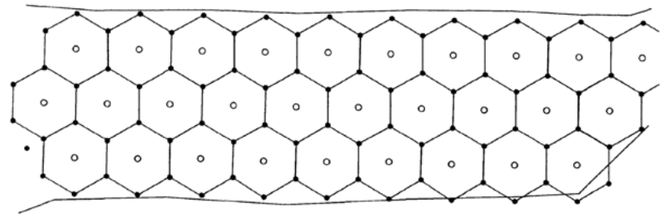
Сравним системы разработки по формулам Рогова Е.И. [2]. Алгоритм подбора и расчета параметров:

1. определяется необходимое количество скважин;
2. строится план расположения скважин и уточняется количество скважин;
3. вычисляются время закисления и выщелачивания;
4. производится экономический анализ сравниваемых систем отработки, где определяется:

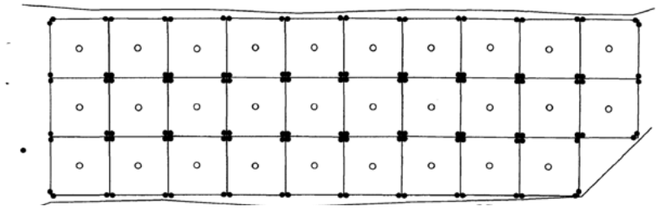
— общие затраты для системы разработки;
— себестоимость 1 кг урана;
— прибыль от реализации.



а) прямоугольная (шахматная) продольная система разработки



б) гексагональная система разработки



в) квадратная система разработки, совмещенным расположением ЗС
○ – откачная скважина, ● – закачная скважина
Рисунок 1. Сравниваемые системы разработки

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приступим к непосредственному расчету, для чего необходимы исходные данные (табл.1). Возьмем для сравнения геотехнологические данные геологического блока 1–3С$_1$ (эксплуатационные блоки 16 и 17) месторождения «Акдала».

Таблица 1. Исходные данные для геотехнологических расчетов

$S_м$, м²	Ж:Т	$S_п$, м	$S_о$, м	Р, т	$R_с$, м	ρ, т/м³	$M_д$, м	$K_ф$, м/сут	$K_п$, д.е.	Н, м
176 430	2,5	50	10	578,7	0,06	1,66	14,7	8	0,25	185

1. Рассчитаем необходимое количество скважин для блоков № 16-17 для сравниваемых систем разработки, для чего условно примем:
   а. прямоугольная (шахматная) продольная схема – расстояние между откачным и закачным рядом b = 60 м, расстояние между ОС в ряду c = 40 м, расстояние между ЗС в ряду a = 20 м, площадью ячейки $S_я$ = 4 800 м² и с радиусом ячейки $R_о$ = 63,2 м;
   б. гексагональная схема с радиусом ячейки $R_о$ = 43 м, a = 43 м и площадью $S_я$ = 4 800 м²;

в. квадратная система разработки, совмещенным (кустовым) расположением ЗС – расстояние между откачным и закачным рядом b = 33 м, расстояние между ОС c = 70 м, расстояние между ЗС a = 70 м, площадью ячейки $S_я$ = 4 900 м^2 и с радиусом ячейки R_o = 50 м.

Здесь площади эксплуатационной ячейки были приблизительно одинаковы, чтобы сравнения производились при одинаковых условий.

Расчетное количество технологических скважин для сравниваемых систем будет:

— прямоугольная (шахматная) продольная:

$$N_{oc} = \frac{S_M}{4b \cdot a}, \quad N_{oc} = \frac{176430}{4 \cdot 60 \cdot 20} = 36 \text{ скв} \qquad (1)$$

$$N_{3c} = n \cdot N_{oc}, \quad N_{3c} = 2{,}8 \cdot 36 = 100 \text{ скв} \qquad (2)$$

— гексагональная система:

$$N_{oc} = \frac{S_M}{2{,}6 \cdot R^2}, \quad N_{oc} = \frac{176430}{2{,}6 \cdot 43^2} = 36 \text{ скв}, \quad N_{3c} = 2{,}6 \cdot 36 = 94 \text{ скв} \qquad (3)$$

— предлагаемая система разработки:

$$N_{oc} = \frac{S_M}{a^2}, \quad N_{oc} = \frac{176430}{70^2} = 36 \text{ скв}, \quad N_{3c} = 4 \cdot 36 = 144 \text{ скв} \qquad (4)$$

где $S_м$ – площадь геологического блока м^2; $N_{ос}$ – количество откачных скважин; $N_{зс}$ – количество закачных скважин; n – отношение закачных скважин к откачным.

2. После построение плана расположения технологических скважин (рис.1) для блоков № 16 и 17, выявили следующее необходимое количество скважин:

— для прямоугольной продольной схемы вскрытия:

$N_{ос}$ = 32 скв.; $N_{зс}$ = 103 скв.; n = 3,22; $N_{скв}$ = 135 скв

— для гексагональной схемы:

$N_{ос}$ = 29 скв.; $N_{зс}$ = 82 скв.; n = 2,83; $N_{скв}$ = 111 скв

— для предлагаемой схемы:

$N_{ос}$ = 29 скв.; $N_{зс}$ = 121 скв.; n = 4,17; $N_{скв}$ = 150 скв

3. Определим время закисления и выщелачивания для сравниваемых систем разработок:

— прямоугольная (шахматная) продольная система разработки:

$$T_З = \frac{86{,}4 \cdot (R_0 + 0{,}5a)^2 \cdot \overline{K}_п}{K_Ф \cdot (n \cdot S_Н + S_0) \cdot ln\left(lnR_o / R_c\right)} \text{ сут} \qquad (5)$$

$$T_З = \frac{86{,}4 \cdot (63{,}2 + 10)^2 \cdot 0{,}25}{8 \cdot (3{,}22 \cdot 50 + 10) \cdot ln\left(ln 63{,}2 / 0{,}06\right)} = 44 \text{ сут}$$

$$T_З = \frac{86{,}4 \cdot (R + 0{,}5a)^2 \cdot \rho_П \cdot f}{\beta \cdot \overline{K}_Ф \cdot (n \cdot S_Н + S_o) \cdot ln\left(lnR_o / R_c\right)} \text{ сут} \qquad (6)$$

$$T_З = \frac{86{,}4 \cdot 73{,}2^2 \cdot 1{,}6 \cdot 2}{0{,}337 \cdot 8 \cdot (3{,}22 \cdot 50 + 10) \cdot ln\left(ln\ 63{,}2 / 0{,}06\right)} = 1\,656 \text{ сут}$$

— гексагональная система разработки:

$$T_З = \frac{158 \cdot R_{20}^2 \cdot \overline{K}_п}{K_Ф \cdot (n \cdot S_Н + S_0) \cdot ln\left(ln\ R_0 / R_c\right)} \text{ сут} \qquad (7)$$

$$T_З = \frac{158 \cdot 43^2 \cdot 0{,}25}{8 \cdot (2{,}83 \cdot 50 + 10) \cdot ln\left(ln\ 43 / 0{,}06\right)} = 32 \text{ сут}$$

$$T_э = \frac{158 \cdot R_{20}^2 \cdot \rho_П \cdot f}{\beta \cdot \overline{K}_Ф \cdot (n \cdot S_Н + S_0) \cdot ln\left(ln\ R_o / R_c\right)} \text{ сут} \qquad (8)$$

$$T_З = \frac{158 \cdot 43^2 \cdot 1{,}6 \cdot 2}{0{,}337 \cdot 8 \cdot (2{,}83 \cdot 50 + 10) \cdot ln\left(ln\ 43 / 0{,}06\right)} = 1217 \text{ сут}$$

— предлагаемая квадратная система разработки:

$$T_З = \frac{158 \cdot (R_0 - 1{,}6R_{ПРС})^2 \cdot \overline{K}_п}{K_Ф \cdot (n \cdot S_Н + S_0) \cdot ln\left(ln\ R_0 / R_c\right)} \text{ сут} \qquad (9)$$

$$T_З = \frac{158 \cdot (50 - 1{,}6 \cdot 2)^2 \cdot 0{,}25}{8 \cdot (4{,}17 \cdot 50 + 10) \cdot ln\left(ln\ 50 / 0{,}06\right)} = 26 \text{ сут}$$

$$T_З = \frac{158 \cdot (R_0 - 1{,}6R_{ПРс})^2 \cdot \rho_П \cdot f}{\beta \cdot \overline{K}_Ф \cdot (n \cdot S_Н + S_0) \cdot ln\left(ln\ R_0 / R_c\right)} \text{ сут} \qquad (10)$$

$$T_З = \frac{158 \cdot (50 - 1{,}6 \cdot 2)^2 \cdot 1{,}6 \cdot 2}{0{,}337 \cdot 8 \cdot (4{,}17 \cdot 50 + 10) \cdot ln\left(ln\ 50 / 0{,}06\right)} = 989 \text{ сут}$$

где $K_п$ – эфф.пористость проницаемых пород; $K_ф$ – коэффициент фильтрации, м/сут; $\rho_п$ – объемная масса руды и рудовмещающих пород, т/м^3; $S_н$ – компрессия на ЗС, м вод.ст.; S_o – депрессия на ОС, м вод.ст.; n – отношение ЗС к ОС; β = 0,675/f – параметр пропорциональности скорости выщелачивания; f – отношение Ж:Т; R_o – радиус ячейки, м; $R_{прс}$ – радиус куста ЗС, м; R_c – радиус скважины (фильтра), м.

Как видно из расчетов, время закисления и выщелачивания сравниваемых систем разработок отличаются, при предлагаемой квадратной системе разработке $T_з$ = 26 суток, а время выщелачивания $T_э$ = 989 суток; гексагональной – $T_з$ = 32 суток, а время выщелачивания $T_э$ = 1 217 суток; прямоугольной (шахматной) – $T_з$ = 44 суток, а время выщелачивания $T_э$ = 1 656 суток.

4. Проведем экономических анализ данных систем разработок, для чего определим затраты на бурение и оснастку скважин и эксплуатационные затраты, которые в основном влияют на себестоимость продукции:
   а. Затраты на бурение и оснастку:

$$З_{скв} = N_{скв} \times H \times C_{скв} \qquad (11)$$

   б. Эксплуатационные затраты:

$$З_{экс} = \frac{T_B \cdot C_э \cdot S_{бл}}{S} \qquad (12)$$

$N_{скв}$ – количество технологических скважин, шт; H – глубина скважины, м; $C_{скв}$ – стоимость бурения и оснастки 1 погонного метра, \$ /п.м.; $C_э$ – суточные эксплуатационные затраты рудника без расходов периода, \$; $T_в$ – время эксплуатации блока, $T_в = T_з + T_э$, сут; S – общая площадь эксплуатируемых блоков, м^2; $S_{бл}$ – площадь проектируемого блока, м^2.

Определим общие затраты:
— для прямоугольной системы разработки:

$$З_{общ} = З_{скв} + З_{экс} \qquad (13)$$

$$З_{общ} = (N_{скв} \times H \times C_{скв}) + (T_в \times C_э \times S_{бл}) / S =$$

$$= (135 \times 185 \times 62{,}5) + (1\,700 \times 15\,000 \times 176\,430) / 780\,000 =$$

$$= 7.328.842 \text{ \$};$$

— для гексагональной системы разработки:

$$З_{общ} = (111 \times 185 \times 62{,}5) + (1\,249 \times 15\,000 \times 176\,430) / 780\,000 = 5.521.151 \text{ \$}$$

— для предлагаемой квадратной системы разработки:

$$З_{общ} = (150 \times 185 \times 62{,}5) + (1\,015 \times 15\,000 \times 176\,430) / 780\,000 = 5.178.153 \text{ \$}$$

По данным расчетам видно, что при предлагаемой системе разработке получается экономия ресурсов:
— по сравнению с прямоугольной шахматной на:

$$7.328.842 - 5.178.153 = 2.150.689 \text{ \$}$$

— по сравнению с гексагональной на:

$$5.521.151 - 5.178.153 = 342.998 \text{ \$}$$

Определим влияние данных затрат на себестоимость извлекаемого урана:
— для прямоугольной шахматной системы разработки:

$$C = З_{общ} / (P \times \varepsilon), \quad C = \frac{7.328.842}{578.700 \cdot 0{,}8} = 15{,}83 \text{ \$/кг} \qquad (14)$$

— для гексагональной системы разработки:

$$C = \frac{5.521.151}{578.700 \cdot 0{,}8} = 11{,}92 \text{ \$/кг}$$

— для предлагаемой системы разработки:

$$C = \frac{5.178.153}{578.700 \cdot 0{,}8} = 11{,}18 \text{ \$/кг}$$

где P – запасы блока по урану, кг; ε – коэффициент извлечения, ε = 0,8-0,9.

Прибыль от реализации продукции:
— для прямоугольной шахматной системы разработки:

$$П = (Ц - C) \times P \times \varepsilon, \qquad (15)$$

$$П = (120 - 15{,}83) \times 578\,700 \times 0{,}8 = 48.226.543 \text{ \$}$$

— для гексагональной системы разработки:

$$П = (120 - 11{,}92) \times 578\,700 \times 0{,}8 = 50.036.717 \text{ \$}$$

— для предлагаемой системы разработки:

$$П = (120 - 11{,}18) \times 578\,700 \times 0{,}8 = 50.379.307 \text{ \$}$$

где $Ц$ – стоимость продукта (желтого кека), \$/кг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Masket Moris***. Techenie odnorodnyh zhidkostei v poristoi srede. – M.: Gostopizdat, 1949.
2. ***Yazikov V.G., Zabaznov V.L., Petrov N.N., Rogov E.I., Rogov A.E.*** Geotehnologiya urana na mestorozhdeniyah Kazahstana. – Almaty: Lem, 2001.

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЯТЦ. РЕСУРСЫ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ, РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС НА БАЗЕ РЕАКТОРОВ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

[1]Аусенов К.Ж., [2]Шаманин И.В.
[1]Ассоциация «Ядерное общество Казахстана», Астана, Казахстан
[2]Научно-исследовательский «Томский политехнический университет», Томск, Россия

Цель исследования:
Выбор типовой реакторной установки для ядерной энергетики Республики Казахстан.

В данном исследовании была проведена процедура сравнения энергоблоки большой мощности в 1 000-1 200 МВт (эл.), а также ядерные установки средней мощности в 600-665 МВт (эл.).

Согласно прогнозным данным АО «КазНИПИИТЭС «Энергия» в Восточном Казахстане к 2020-2030 годам будет наблюдаться дефицит в размере 600-900 МВт (эл.), это дает возможность рассмотреть строительство АЭС с одним энергоблоком большой или двух типовых энергоблоков средней мощности.

Районы предполагаемого строительства Курчатовской и Балхашской АЭС (рис. 1а и б).

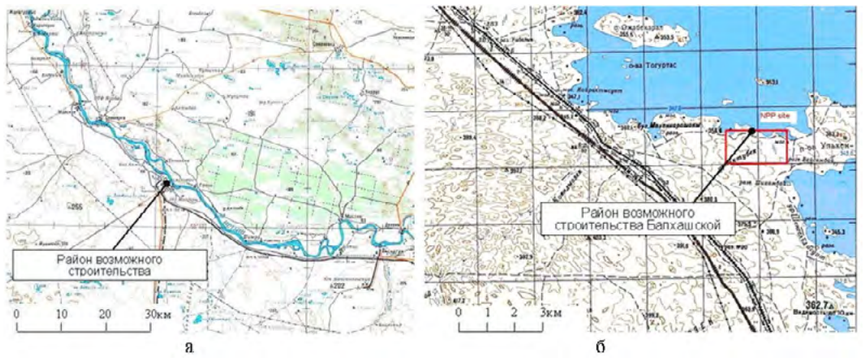


Рисунок 1. Районы предполагаемого строительства а. Курчатовской, б. Балхашской АЭС

Для сравнения энергоблоков большой мощности были выбраны 3 типовые ядерные установки ВВЭР-1000, AP1000 и ACR-1000 (рис 2 а, б, в). А также установки средней мощности, такие как: CANDU-6, ВВЭР-640 и АР-600 (рис 3 а, б, в).

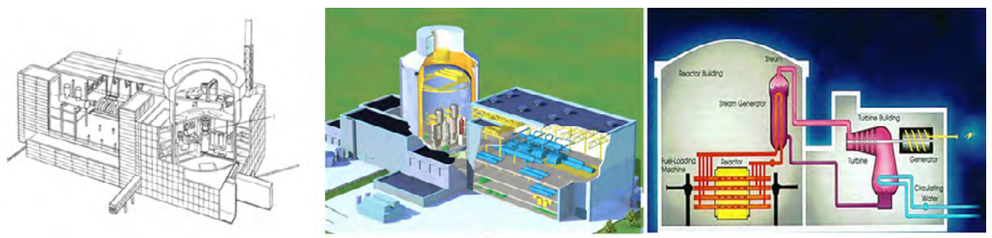
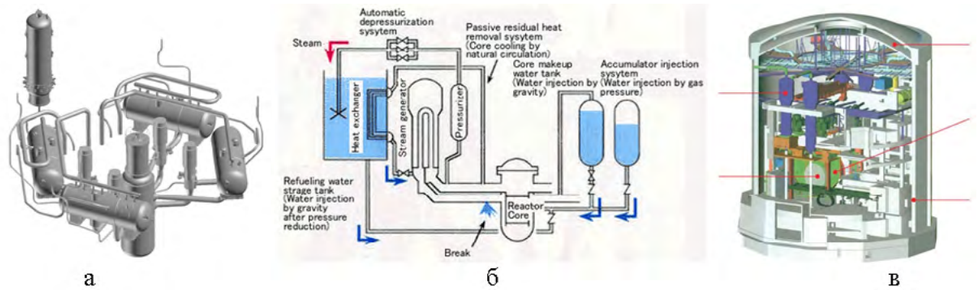


Рисунок 2. Энергоблоки большой мощности: а) ВВЭР-1000, б) AP1000, в) ACR-1000



а б в

Рисунок 3. Энергоблоки средней мощности: а) CANDU-6, б) ВВЭР-640, в) AP600

Сравнение реакторов было по техническим, безопастностным и экономическим критериям. Среди них общая характеристика энергоблока, Системы остановки реактора; Аварийное охлаждение активной зоны; Аварийное электроснабжение, Меры по предотвращению запроектной тяжелой аварии с плавлением активной зоны; Защищенность от внешних воздействий; Меры по уменьшению стоимости строительства, эксплуатации и снятия эксплуатации станции, экономические показатели.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНЕРГОБЛОКА

Все рассматриваемые реакторы относятся к технологиям типа PWR/ВВЭР, это AP1000, AP600, ВВЭР-1000, ВВЭР-640, за исключением реакторов CANDU-6, ACR-1000. Реактор CANDU-6 является тяжеловодным реактором канального типа с разделенными контурами: теплоносителя и тяжеловодного замедлителя. Реактор ACR-1000 является усовершенствованным CANDU реактором со сверхкритическим давлением теплоносителя. У всех реакторов общие подходы к обеспечению безопасности примерно одинаковые. Применяется принцип глубокоэшелонированной защиты с системой безопасности на пути распространения радиоактивности.

Мощность рассматриваемых реакторов большой мощности находится в диапазоне от 1 000 МВт (эл.) до 1 200 МВт (эл.), а также ядерные установки средней мощности в 600-665 МВт (эл.). Все реакторы работают на топливе UO_2 обогащением ниже 5%. Активная зона ACR-1000, также как у CANDU-6 имеет стандартную геометрическую компоновку горизонтальных топливных каналов в квадратной решетке. Срок службы реакторов от 40 до 60 лет. Средняя глубина выгорания топлива для реакторов большой мощности меняется от 20 МВт×сут/кгU (ACR-1000) до 60 МВт×сут/кгU (ВВЭР-1000, AP1000), для реакторов средней мощности меняется от 8 МВт×сут/кгU (CANDU-6) до 55 МВт×сут/кгU (AP600).

СИСТЕМА ОСТАНОВКИ РЕАКТОРА

Все реакторы имеют две системы остановки реактора, отвечающие принципам независимости, разнообразия, а также пассивности средств инициирования и срабатывания аварийной защиты:

- сброс твердотельных поглощающих стержней при обесточивании электромагнитных захватов под действием силы тяжести;
- активная система инжекции раствора борной кислоты или гадолиния в замедлитель. Только у ВВЭР-1000, она пассивная, с инжекцией раствора борной кислоты.

АВАРИЙНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

Все реакторы имеют активные и пассивные системы охлаждения АЗ. Системы имеют достаточное резервирование и запасы воды.

Все системы аварийного охлаждения АЗ и контайнмента реакторов AP1000, ВВЭР-640 и AP600 являются пассивными.

В ВВЭР-1000 имеются активные и пассивные системы аварийной инжекции теплоносителя непосредственно в корпус реактора высокого и среднего давления в виде аккумуляторов или подсистем линий с насосами, а также активные системы для длительного отвода остаточного тепла от активной зоны.

В ВВЭР-640 имеется система пассивного отвода тепла от первого с использованием конденсатора пара, расположенного в резервуаре с водой, применяемого при целостном первом контуре, когда или остановлена циркуляция воды первого контура, или потерян отвод тепла парогенератором.

В ВВЭР-640 и CANDU-6 применяется отвод тепла через парогенератор с помощью аварийных конденсаторов, погруженных в резервуар при малых течах первого контура.

У реактора ACR-1000 имеются аккумуляторы с водой под давлением, входящие в инжекционную систему аварийного отвода тепла от АЗ, которые через систему теплопереноса (HTS) осуществляют аварийную подачу в контур охлаждения при аварии с потерей теплоносителя. Имеется аварийное охлаждение АЗ осуществляемое системой инжекции охлаждающей жидкости (ECI). Через системуHTS также подается вода из аккумуляторов с водой под давлением в случае аварии LOCA. В случае необходимости вода под действием сил гравитации подается из резервуара RWT для охлаждения парогенераторов, что препятствует повреждению топлива и топливных каналов, а также предотвращает тяжелые аварии. Имеется система продолжительного охлаждения (LTC), обеспечивающая своевременный отвод тепла распада от реактора в фазе восстановления/рециркуляции после аварии LOCA.

АВАРИЙНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Резервирование рабочего и аварийного электроснабжения обеспечивается в проектах всех реакторов. Внешнее электроснабжение обеспечивается по 2 независимым линиям. Кроме того, у всех сравниваемых реакторов есть аварийное электроснабжение от дизельных генераторов и аккумуляторных батарей постоянного тока. Исключением является проект реактора AP1000, где не предусмотрено никакое аварийное электроснабжение, так как все системы безопасности у него пассивные, то есть не потребляют электроэнергию.

МЕРЫ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЗАПРОЕКТНОЙ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ С ПЛАВЛЕНИЕМ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

Все реактора имеют разработанные системы мер по предотвращению тяжелой аварии с плавлением активной зоны. Имеются сходства в общих подходах, а отличия, бывают в конструктивном исполнении и некоторых особенностях.

К общим особенностям применяемых мер относятся применение аварийной систем охлаждения АЗ, например, инжекция теплоносителя в корпус реактора большого и среднего давления:

- пассивным способом для ВВЭР-1000 и АР1000, АР600, ВВЭР-640;
- активным способом для ВВЭР-1000, ВВЭР-640.

ЗАЩИЩЕННОСТЬ ОТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Предусмотрена у всех рассматриваемых реакторов, но в разной степени. Сооружение реактора и оборудования на устойчивость для проектного землетрясения от 0,2g (ВВЭР-1000) до 0,5g (АР1000). Высокая сейсмичность при 9 баллах шкалы Рихтера для CANDU-6. Контайнментные сооружения рассчитывались на внешние воздействия, вызванные стихийными бедствиями ветер, торнадо пожар и падение реактивного снаряда. Фактор падения самолета практически не учитывается в рассмотренных проектах реакторов, в связи с его низкой вероятностью 10-7 событий в год. В связи с высокой террористической опасностью в 21 веке, целесообразным будет более детальный расчет данного критерия.

МЕРЫ ПО УМЕНЬШЕНИЮ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА, ЭКСПЛУАТАЦИИ И СНЯТИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНЦИИ. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

В проектах всех реакторов применены различные усовершенствования и меры по повышению экономичности строительства и эксплуатации станции.

К ним относятся:

- увеличение срока службы до 50-60 лет для большинства реакторов;
- увеличение электрической мощности установок;
- увеличение продолжительности топливного цикла до 18-24 месяцев и сокращения стоимости топливного цикла;
- улучшения доступности оборудования, радиационных условий; работы, профилактических эксплуатационных мер.

Кроме того, в реакторах, использующих пассивные системы безопасности, в таких реакторах, как АР1000, АР600, ВВЭР-640, экономия достигается за счёт упрощения, уменьшения количества оборудования, упрощения обслуживания. В реакторах CANDU большая экономия достигается ещё за счёт использования топлива на природном уране.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сделать следующие выводы:

- рассмотренные проекты реакторов удовлетворяют современным требованиям: по созданию большего запаса воды, по наличию пассивных средств заглушения цепной реакции и их резервированию, по наличию пассивных средства аварийного охлаждения активной зоны при аварии с потерей теплоносителя и их резервированию, по наличию достаточных и надежных средств для предотвращения тяжелых аварий, для контроля и управления тяжёлыми авариями и недопущению тяжёлых последствий;
- для проектов всех реакторов вероятности повреждения активной зоны и предельного выброса радиоактивности вполне удовлетворяют требованиям МАГАТЭ;

- из рассматриваемых проектов реакторов, на наш взгляд, наиболее привлекательным являются проекты реакторов ВВЭР-1000 и CANDU-6 практически исключающие тяжёлую аварию с плавлением активной зоны, а также выход предельной радиоактивности в окружающую среду при тяжёлой аварии, соответственно.

Преимущества реакторных технологий ВВЭР-1000 для Республики Казахстан:

- использование как активных, так и пассивных систем безопасности;
- 33 работающих по всему миру реактора типа ВВЭР-1000 с наработкой более 1 400 реакторо-лет эксплуатации продемонстрировали высокий уровень безопасности АЭС с ВВЭР при экономических характеристиках, соответствующих требованиям эксплуатирующих организаций;
- использование уранового топлива UO_2, возможно применение уран-гадолиниевого топлива UO_2-Gd_2O_3;
- транспортировка топлива для предполагаемой АЭС только по территории таможенного союза, что является дополнительным плюсом для вклада в режим нераспространения ядерного оружия.

Недостатки реактора ВВЭР-1000:

- использование вертикального парогенератора с большой коррозией теплообменных труб вследствие конструктивных особенностей ПГ;
- нет детального моделирования падения большого коммерческого самолета массой 400 т на контайнмент реакторного здания.

Преимущества тяжеловодного реактора CANDU-6:

- высокий уровень безопасности, надежности и экономической конкурентоспособности;
- использованием топлива на природном уране, особенно для стран, не имеющих дорогостоящих установок по обогащению урана.

Недостатки технологий реактора CANDU-6:

- большой недостаток – это наработка плутония-239 оружейного качества, что является недопустимым по всеобъемлющему Договору нераспространения ядерного оружия;
- использование тяжелой воды в качестве замедлителя нейтронов, являющегося товаром двойного назначения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Батий В.Г., Деренговский В.В.***. Методика выбора площадки размещения радиационноопасных объектов. Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины. УДК: 621.039.58
2. ***Батырбеков Г.А.*** Системный сравнительный анализ проектов энергетических реакторов АЭС с водой под давлением (PWR, ВВЭР) и кипящей (BWR). Современные технологии безопасности АЭС и ядерные топливные циклы разных стран. Алматы, 2013.
3. Отчет о выполнении мероприятий по подпрограмме: Проведение технико-экономических исследований в обоснование строительства атомных электростанций в Республике Казахстан. Республиканской бюджетной программы 049 «Подготовительная работа по развитию атомной энергетики». Основные результаты ТЭИ. Кур-

чатов, 2009.
4. ***Токмачев Г.В.*** АЭС AP1000 компании Westinghouse, обладающая повышенной экономичностью и безопасностью. Атомная техника за рубежом. №5, 2006. УДК 621.039.58.
5. Advanced CANDU reactor (ACR) Safety design approach. Advanced nuclear plant design options to cope with external events.// IAEA-TECDOC-1487, 2006.
6. ACR-100. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants.// IAEA-TECDOC-1624, 2009.
7. WWER-640/407. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants.// IAEA-TECDOC-1624, 2009.
8. WWER-1000/392. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants.// IAEA-TECDOC-1624, 2009.
9. Natural circulation in water cooled nuclear power plants Phenomena, models, and methodology for system reliability assessments// IAEA-TECDOC-1624, 2005.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Пирматов Э.А., Пирматов А.Э., Шафранов А.Г., Турко С.И.
ТОО «СП «SARECO», Степногорск, Казахстан

Республика Казахстан располагает значительными запасами как собственного редкоземельного, так и РЗЭ-содержащего комплексного минерального сырья.

Из рудного сырья практический интерес представляет месторождение Верхнее Еспе, находящееся в Восточно-Казахстанской области с промышленным средним содержанием суммы РЗЭ 0,35%. Фосфоритовые месторождения Каратау также отличаются промышленными содержаниями редкоземельных элементов. Содержание суммы редкоземельных элементов в них изменяется от 614 до 1 088 грамм на тонну.

Государственным балансом республики учтено восемь месторождений РЗЭ.

Запасы четырех из них сосредоточены в Мангистауской области на урановых месторождениях Меловое, Токмак, Тайбогар и Тасмурын. Акбулакское месторождение и Кундыбай находятся в Костанайской области, на месторождениях Южно-Казахстанской области — Моинкум и Акдала учтены только забалансовые запасы редких земель. По степени освоения пять месторождений являются резервными.

Большой интерес представляет рудопроявление «Кундыбай», расположенное в Костанайской области. Наиболее распространенным минералом в нем является черчит, среднее содержание РЗЭ в нем составляет 0,23%, но высока доля дефицитных тяжелых лантаноидов. Интерес представляет также месторождение Акбулак.

Одним из перспективных редкоземельных объектов, заслуживающим поисково-оценочных работ является месторождение Шок-Карагай в Айртауском районе Северо-Казахстанской области. Выделены две рудоносные зоны, на участке Южный содержание суммы РЗЭ составляет до 0,6%.

По данным различных экспертов, в стране также накоплено от 14 до 25 млрд. т техногенных отходов. При этом содержание РЗМ в них достигает 0,6 %, что сопоставимо с некоторыми рудными месторождениями, а потому их можно рассматривать как самостоятельную сырьевую базу. Другим подобным примером являются отходы фосфорного производства. Фактически полноценным месторождением РЗМ являются 700 тыс. т шлама Шымкентского фосфорного завода, содержащего 700 т галлия, 600-650 т германия, 500 т скандия, до 2 т таких оксидов, как лантан, неодим, самарий

Суммарные сырьевые ресурсы всех рассмотренных месторождений весьма значительны и дают возможность выбора объектов, по степени их подготовленности и изученности, для создания в Казахстане производства редкоземельных концентратов и металлов. Роль Казахстана в мировом производстве редкоземельных металлов (РЗМ) пока невелика. Иртышская редкоземельная компания перерабатывает сырье из России (Соликамский магниевый завод) и выпускает различные соединения РЗМ. Объем их экспорта колеблется от 400 до 1 900 т.

В связи с перспективностью ранка РЗМ в конце 2012 г. был запущен комплекс по производству коллективных концентратов редкоземельных металлов (далее ККРЗМ) совместное казахстанско-японское опытно-промышленное производство (далее ОПП) ТОО «СП «SARECO» в г. Степногорске (Акмолинская обл., РК) мощностью в 1,5 тыс. т.

В качестве сырьевых источников на кратковременную перспективу были определены запасы техногенных минеральных образований (ТМО), расположенных в г. Актау и являющихся отходами бывшего Прикаспийского горно-химического комбината, накопленные в советское время, которые содержат значительное количество дефицитной тяжелой группы РЗМ, а также запасы монацитового концентрата (МК), содержащего исключительно легкую группу РЗМ, хранящиеся с советского времени в АО «УМЗ». ТОО «СП «SARECO» является одним из немногих предприятий, выпускающим концентраты РЗМ с высоким содержанием тяжелой группы. Содержание редкоземельных оксидов (РЗО) в МК и ТМО приведены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание РЗО в МК и ТМО

Наименование оксидов РЗМ	МК		ТМО	
	% масс.	%, отн.	% масс.	%, отн.
CeO_2	20,89	49,75	1,34	26,18
Nd_2O_3	7,61	17,80	0,51	9,96
La_2O_3	6,29	14,81	0,87	17,00
Pr_6O_{11}	2,96	6,80	0,13	2,52
Сумма легких РЗО	**37,75**	**89,16**	**2,85**	**55,66**
Sm_2O_3	2,88	7,80	0,12	2,26
Eu_2O_3	0	0,00	0,04	0,78
Gd_2O_3	0,81	1,70	0,18	3,53
Tb_4O_7	0,008	0,02	0,03	0,56
Dy_2O_3	0,038	0,09	0,17	3,39
Ho_2O_3	0	0,00	0,04	0,69
Сумма средних РЗО	**3,74**	**9,61**	**0,57**	**11,21**
Er_2O_3	0,008	0,02	0,11	2,20
Tm_2O_3	0,001	0,00	0,01	0,20
Yb_2O_3	0,004	0,01	0,10	1,95
Lu_2O_3	0	0,00	0,01	0,25
Сумма тяжёлых РЗО	**0,01**	**0,03**	**0,24**	**4,60**
Сумма РЗО	41,50	98,80	3,67	71,48
Y_2O_3	0,50	1,20	1,46	28,52
Сумма РЗО + Y_2O_3	**42,00**	**100,00**	**5,13**	**100,00**

ОПП ТОО «СП «SARECO» является первым звеном реализуемой промышленной цепочки производства готовых изделий из РЗМ.

Технологический процесс получения ККРЗМ и, при необходимости, дальнейшего его разделения на цериевый (ЦК) и обесцеренный (ОБК) концентраты, обеспечивающий выполнение требований потребителя по содержанию примесей, приведен на Рисунке 1.

Содержание РЗО в основных продуктах производства приведены в Таблице 2.

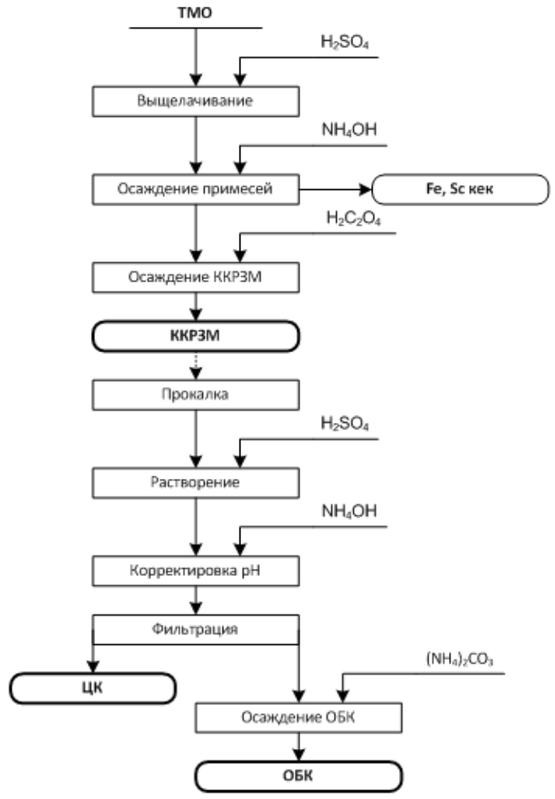


Рисунок 1. Технологическая схема ТОО «СП «SARECO»

Таблица 2. Содержание РЗО в продуктах производства

Наименование оксидов РЗМ	ККРЗМ	ОБК	ЦК
La_2O_3	4,60	7,90	4,61
CeO_2	10,51	0,51	47,55
$Pr6O_{11}$	1,17	2,24	0,40
Nd_2O_3	4,40	7,83	1,76
Sm_2O_3	1,12	2,23	0,37
Eu_2O_3	0,28	0,60	0,07
Gd_2O_3	1,34	3,01	0,32
Tb_4O_7	0,24	0,50	0,11
Dy_2O_3	1,39	2,83	0,40
Ho_2O_3	0,28	0,59	0,06
Er_2O_3	0,89	1,67	0,17
Tm_2O_3	0,12	0,21	0,01
Yb_2O_3	0,81	1,17	0,22
Y_2O_3	12,84	17,69	2,85
Lu_2O_3	0,12	0,16	0,02
$\sum TRO_{Ce}$	**20,67**	**18,48**	**54,32**
$\sum TRO_{Y}$	**19,42**	**30,66**	**4,60**
$\sum$TRO	**40,09**	**49,15**	**58,92**

Произведенный на ОПП ТОО «СП «SATECO» ККРЗМ в полном объем передается второму звену цепочки – ТОО «ИРЗК», располагающим необходимыми разделительными мощностями для его переработки с получением оксида дидима и коллективного концентрата тяжелой группы РЗМ, по технологической схеме, представленной на Рисунке 2.

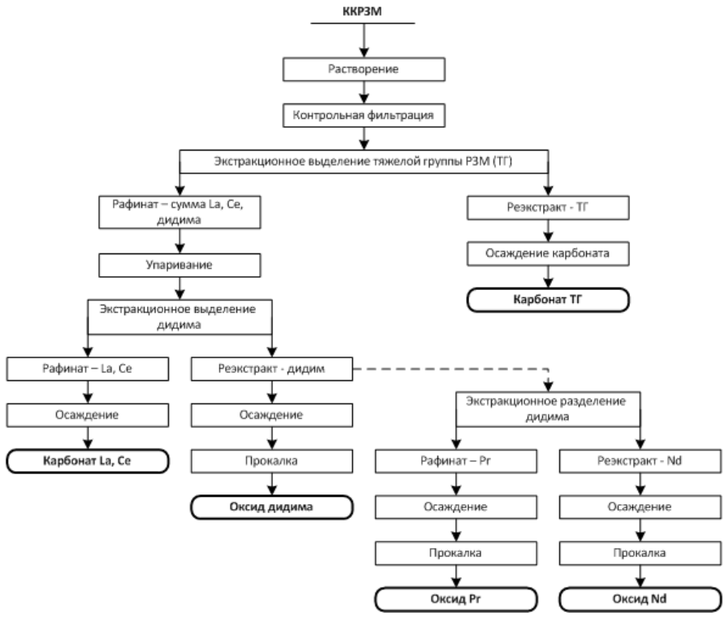


Рисунок 2. Технологическая схема переработки ККРЗМ на ТОО «ИРЗК»

Третье звено предполагает организацию собственного производства наиболее востребованных на рынке «магнитных» РЗМ: дидима и диспрозия металлических, магнитных сплавов и, в перспективе, высокоэффективных постоянных РЗМ магнитов. Для производства магнитных металлов будут применяться традиционные технологии электролизного восстановления (дидим) и кальций-термического восстановления фторида диспрозия (диспрозий). Участки получения дидима и диспрозия не являются капиталоемкими, не требуют значительных площадей и специальных условий по инженерным сетям, поэтому могут располагаться на существующих производственных площадях ТОО «СП «SARECO» или АО «УМЗ».

Проведенные на ТОО «СП «SARECO» опытно-промышленные испытания технологии переработки ТМО выявили следующие проблемные вопросы, требующие дальнейшего изучения:

— снижение активности готовой продукции ККРЗМ для возможности реализации на предприятия, не имеющие мощностей по переработке низкорадиоактивных материалов;
— повышение извлечения РЗМ;
— повышение скорости и эффективности разделения фаз на переделах сгущения и фильтрации;
— разработка эффективной технологии извлечения скандия из железо-скандиевого кека;
— разработка эффективной технологии разделения La и Ce с получением чистого оксалата Ce.

СОРБЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИОНООБМЕННЫЕ СМОЛЫ AXIONIT ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ, ДРАГОЦЕННЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ

[1]Кондруцкий Д.А., [1]Востров Е.С., [1]Третьяков В.А., [1]Гаджиев Г.Р., [2]Милютин В.В., [2]Некрасова Н.А.
[1]АО «Аксион-Редкие и Драгоценные Металлы», Пермь, Россия
[2]Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН), Москва, Россия

При выделении и разделении различных радиоактивных элементов, в том числе актинидов, широко используются сорбционные технологии. Так для извлечения и аффинажа Pu(IV) наиболее часто используются винилпиридиновые аниониты, например, анионит марки Reillex HPQ производства компании Vertellus (США). В России для извлечения плутония используют винилпиридиновый анионит марки ВП-1Ап, производство которого в настоящее время по ряду причин прекращено. Для обеспечения потребностей атомной промышленности России российская компания АО «Аксион-Редкие и Драгоценные Металлы» (АО «Аксион-РДМ») разработала метод синтеза винилпиридинового анионита марки AXIONIT VPA. Исследования, проведенные в ИФХЭ РАН показали, что по физико-химическим характеристикам данный сорбент является аналогом анионита ВП-1Ап. По своим сорбционным характеристикам по отношению к торию и плутонию, а также по кинетическим параметрам анионит AXIONIT VPA превосходит ВП-1Ап. В 2016 г. АО «Аксион-РДМ» выпустила и поставила опытную партию сорбента AXIONIT VPA в количестве 200 кг на одно из предприятий атомной отрасли России.

Для извлечения ионов радиоактивных РЗЭ и актинидов из растворов широко используются сорбенты на основе экстрагента N,N,N',N' – тетра-n-октилдигликольамида (TODGA), в частности, сорбент марки DGA Resin производства компании «Triskem International», Франция. Сорбент получают путем импрегнирования TODGA пористого полимерного носителя. АО «Аксион-РДМ» разработала и наладила выпуск TODGA-содержащего сорбента, получаемого путем совместной сополимеризации стирола, дивинилбензола и TODGA (сорбент марки AXIONIT MND) с содержанием экстрагента до 40% масс. Данный сорбент обладает высокой сорбционной емкостью (0,3-0,4 ммоль/г) по ионам Eu^{3+}, Th^{4+} и UO_2^{2+} при сорбции из растворов с концентрацией азотной кислоты (1-6 моль/дм^3). Десорбция поглощенных ионов может быть осуществлена 0,01 М раствором HNO_3. Сорбент AXIONIT MND обладает лучшими сорбционными и кинетическими характеристиками, по сравнению с сорбентами, полученными методом импрегнирования готовой полимерной матрицы (DGA Resin).

Кроме сорбентов для извлечения радиоактивных РЗЭ и актинидов АО «Аксион-РДМ» выпускает резорцин-формальдегидный катионит марки RCs (аналоги Duolite CS-100, Amberlite XAD 761) для извлечения радионуклидов цезия из сильнощелочных растворов; аминофосфиновый катионит марки Эко-10, Эко-10А (аналоги отсутствуют) для извлечения РЗЭ, U, ТПЭ, цветных металлов; гем-дифосфоновый катионит марки NP, ТВЭКС ТБФ, Д2ЭГФК, ФОР для извлечения РЗЭ, в особенности скандия, анионит Pd Sorb для извлечения палладия из азотнокислых растворов, Au-Sorb для извлечения золота из хлоридных растворов и ряд других ионообменных материалов.

АО «Аксион-РДМ» обладает собственной производственной базой, позволяющей проводить наработку опытных партий сорбентов.

ПОДБОР ИОНООБМЕННЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗАДАЧ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

[1]Татарников А.В., [2]Михайленко М.А.
[1]АО «ВНИИХТ», Москва, Россия,
[2]Представительство Purolite Ltd (Великобритания), Москва, Россия

Сырьевые источники редких и редкоземельных элементов (РЗМ) отличаются большим разнообразием минералогического состава и способов получения продуктивных растворов. Поэтому выбор экономически обоснованной технологической схемы для получения товарных продуктов является задачей сложной и нетривиальной.

Целями переработки сырья могут быть следующие операции: выделение суммы РЗМ в концентрат, выделение из концентратов группы легких, среднетяжёлых и тяжёлых РЗМ, очистка РЗМ от примесей, разделение на индивидуальные элементы.

Всё это разнообразие делает актуальной разработку новых сорбентов, обладающих какими-либо отличительными сорбционными характеристиками в отношении редких элементов и типичных примесей. Эти отличия и способны определить практическую ценность сорбентов для решения сложных технологических задач.

Различные сорбенты, обладающие специфическими сорбционными характеристиками, являются инструментами, позволяющими «собирать» оптимальные технологические схемы.

В представляемой работе дана первичная характеристика нескольких новых сорбентов по параметрам селективности и коэффициентов распределения для многокомпонентных модельных растворов, имитирующих ряд типовых объектов для извлечения РЗМ, в сравнении с известными коммерческими сорбентами.

В рамках данной работы сорбционные эксперименты проводили в статике, анализ на элементы делали как в растворе, так и в фазе смолы, затем вычисляли коэффициенты распределения и разделения элементов.

Как правило, продуктивные растворы в гидрометаллургии РЗМ отличаются сложным составом с высоким солесодержанием и кислотностью.

Были исследованы системы, моделирующие фосфорную кислоту, получаемую как по азотнокислой, так и по сернокислотной схемам, гидролизную серную кислоту в производстве титанового пигмента, фильтраты сорбции природного урана, азотнокислые растворы выщелачивания руд месторождения Томтор.

В качестве сорбентов исследовали коммерческие продукты Lewatit TP260, Purolite S957, Purolite PPC160, а также опытные сорбенты AA03 и GS176.

Было отмечено, что в разных системах исследованные сорбенты ведут себя различно, что позволяет использовать их в разных комбинациях для решения разных задач.

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЗЭ ИЗ РАСТВОРОВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Рычков В.Н., Кириллов Е.В., Кириллов С.В., Буньков Г.М., Боталов М.С., Смышляев Д.В.
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

При подземном выщелачивании урана в продуктивные растворы переходит часть ценных сопутствующих элементов. Таким образом, урановые месторождения можно рассматривать не как мономинеральные, а как полиэлементные и осуществлять их изучение, как комплексных объектов.

Особую важность для оценки перспектив извлечения сопутствующих компонентов представляют данные об их содержаниях в технологических растворах. Накопленный практический опыт показывал, что на объектах сернокислотного ПВ уровни концентраций сопутствующих элементов находятся в следующих пределах: Re - 0,2÷0,5 мг/дм^3; Sc - 0,15÷1,0 мг/дм^3; V - 10÷40 мг/дм^3; Li - 0,3÷1 мг/дм^3; Rb - до 1 мг/дм^3; Sr - до 10 мг/дм^3; сумма иттрия и лантаноидов - 10÷50 мг/дм^3 [1].

В соответствие с накопленными к концу 80-х годов прошлого столетия данными реальным представлялась попутная добыча при ПВ урана Re, Sc, РЗЭ и на отдельных объектах Mo. Работы по получению этих металлов при ПВ урана осуществлялась в СССР в опытно-промышленных масштабах. В подавляющем большинстве случаев в качестве способа для первичного концентрирования или селективного извлечения использовалась сорбция.

Т.к. на этапе первичного концентрирования РЗЭ использовались промышленно-доступные универсальные сульфокатиониты, то качество первичных концентратов было не высоким - содержание РЗЭ составляло не более 5% [2].

В связи с возобновившемся коммерческим интересом к РЗЭ, в последнее время, были проведены научно-исследовательские и опытно-технологические работы по извлечению РЗЭ из растворов подземного выщелачивания урана [3,4]. В качестве сорбентов применялись новые универсальные сульфокатиониты, модифицированные для решения поставленных задач. В ряде технологических решений авторам удалось, уже на этапе первичного концентрирования, получать концентраты с содержанием РЗЭ до 90-95% в пересчёте на оксиды. Такой продукт сразу можно направлять на экстракционное получение индивидуальных РЗЭ.

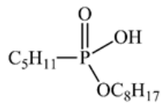
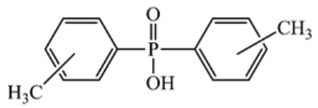
Основными недостатками разработанных технологий можно считать высокую себестоимость получения концентратов РЗЭ с использованием для концентрирования универсальных сульфокатионитов и высокую удельную активность получаемых концентратов обусловленную совместным с РЗЭ концентрированием продуктов деления U-235.

В ряде случаев, решить указанные технологические задачи позволяет применение для концентрирования РЗЭ сорбентов со специфической комплексующей способностью. Такие сорбенты должны обладать большой удельной емкостью по РЗЭ, гораздо боль-

шей чем универсальные сульфокатиониты, а также позволять, как на этапе сорбции, так и на этапе десорбции проводить хроматографическую очистку от породообразующих примесей и радионуклидов.

В данной работе по выделению РЗЭ из модельных многокомпонентных растворов использовали сорбенты, содержащие, в качестве ионогенных, группы октилового эфира пентилфосфоновой кислоты и смеси изомеров дитолилфосфиновой кислоты.

Таблица 1. Выделение La^{3+}, Nd^{3+}, Eu^{3+}, Ho^{3+}, Tm^{3+}, Lu^{3+} из растворов 0,01 М H_2SO_4 0,01 М растворами исследуемых в дихлорэтане (ДХЭ)

Структура активного компонента сорбента (L)	0.01 М раствор L в ДХЭ// 0,01Н H_2SO_4					
	lgDLa	lgDNd	lgDEu	lgDHo	lgDTm	lgDLu
	-0,63	-0,36	0,12	1,36	2,27	2,50
	-0,80	0,12	1,58	2,71	2,79	2,76

Из таблицы 1 видно, что коэффициенты распределения РЗЭ возрастают при переходе от лёгкой к среднетяжёлой группе - значения lg D для Ho^{3+}, Tm^{3+}, Lu^{3+} существенно выше, чем для La^{3+}, Nd^{3+}, Eu^{3+}. Таким образом исследованные сорбенты позволяют в большей степени сконцентрировать наиболее ценную среднетяжёлую группу РЗЭ.

Для получения данных по селективности изучаемых сорбентов провели исследования по сорбции РЗЭ в присутствии примесей. Состав исходного раствора приведён в таблице 2. Через колонку, заполненную сорбентом пропустили определённый объем модельного раствора и провели элюирование 0,08 н раствором H_2SO_4.

Установлено, что в исследованных условиях алюминий, магний и кальций плохо сорбируются и десорбируются первыми объемами элюата, при этом проскока РЗЭ не наблюдали. Основное количество (более 90%) ионов железа вымывается с колонки при пропускании одного удельного объема 0,08 н раствора H_2SO_4, таблица 2.

Таблица 2. Состав исходного раствора (pH=1,5) и элюатов РЗЭ

	Fe^{2+}/Fe^{3+}, г/дм^3	Al^{3+}, г/дм^3	Mg^{2+}, г/дм^3	Ca^{2+}, г/дм^3	$\sum Eu^{3+}$, Er^{3+} и Sm^{3+}, г/дм^3
Исходный раствор (0,08 М H_2SO_4)	0,500	0,500	0,500	0,500	0,060
Элюат РЗЭ (I)	0,050	0,002	0,005	0,002	0,052
Элюат РЗЭ (II)	0,030	0,003	0,004	0,001	0,054

Элюирование суммы РЗЭ и остатков (до 10%) железа осуществили, путем промывки колонки 0,25 н HCl. Технологический выход РЗЭ составил для обоих сорбентов около 90%. Содержание примесей в элюате приведено в таблице 2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Кротков В.В.*** Горно-химическая технология добычи урана / В.В. Кротков, Д.П. Лобанов, Ю.В. Нестеров, И.Г. Абдульманов – М.: ГЕОС, 2001. – 368 с.
2. ***Нестеров Ю.В.*** Иониты и ионообмен. Сорбционная технология при добыче урана и других металлов методом подземного выщелачивания / Ю.В. Нестеров. – М.: ООО «ЮНИКОР-ИЗДАТ», 2007. - 480 с.
3. ***Шокобаев Н.М.*** Разработка технологий комплексной переработки руд экзогенных месторождений урана с попутным извлечением рения, скандия и редкоземельных металлов : дисс. …д-р. филл. (PhD) : 6D070900 / Шокобаев Нурллан Маратович, Алматы, 2015. – 111 с.
4. ***Кириллов Е.В.*** Разработка сорбционной технологии извлечения редкоземельных элементов из растворов подземного выщелачивания урана : дис. … канд. тех. наук : 05.17.02 / Кириллов Евгений Владимирович, Екатеринбург, 2016. – 188 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХОЛОДНОГО ВСЕСТОРОННЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАНТАЛОВОЙ И НИОБИЕВОЙ ПРОДУКЦИИ С УЛУЧШЕННОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ И МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Ангилевко А.В., Гайнцев Г.А., Цораев В.А., Попов Д.В.
АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

Развитие новой техники за последние десятилетия значительно расширило сферу применения тантала и ниобия, вместе с тем возросли и требования, предъявляемые к изделиям из этих металлов. В первую очередь, с началом применения тонкопленочных технологий в электронике, появился повышенный спрос на тантал, чистотой 4N5 и чище.

В значительной мере ужесточись требования к плоскому и круглому прокату по однородности микроструктуры, получению определенной величины зерна, однородности механических свойств в продольном и поперечном направлениях, высокой пластичности, обеспечению равномерного течения материала при глубокой вытяжке и по многим другим показателям.

В этой связи на танталовом производстве АО «УМЗ» была разработана технология получения высокочистого тантала, призванная не только удовлетворить требования по химическому составу, предъявляемые к мишеням напыления, но и повысить пластичность прокатной продукции. Действительно, наличие элементов внедрения в переходных металлах IVA и VA групп вызывает существенные изменения свойств этих металлов и в большинстве случаев повышает прочность и увеличивает температуру хладноломкости[1], а по мере увеличения чистоты этих металлов происходит закономерное повышение низкотемпературной пластичности.

Рисунок 1. Дефекты на изделиях – следствие анизотропии свойств

Однако, в результате снижения количества примесей снизилась однородность микроструктуры, а с повышением пластичности увеличилась анизотропия свойств прокатной продукции - относительное удлинение в продольном и поперечном направлениях стали значительно отличаться. При устранении текстуры проката термообработкой происходило укрупнение микроструктуры. Получить требуемый размер зерна удавалось только с сохранением остаточной текстурированности, что приводило к различию механических свойств в продольном и поперечном направлениях. Так, например, структурная

неоднородность, различие механических свойств в ленте при глубокой вытяжке приводит к образованию на изделиях дефектов в виде: фестонообразования, полос течения металла, «апельсиновой корки», порывов – рисунок 1.

Перед тем как приступить более детальному описанию причин возникновения анизотропии свойств необходимо отметить, что механизм пластической деформации у металлов VA группы существенно отличается от такового у металлов VIA группы. Эти отличия в значительной степени могут быть объяснены более низкой, чем в металлах VIA группы, величиной энергии дефекта упаковки. В известной монографии [2], Трефилов В.И., Мильман Ю.В. и др., рассматривают низкую энергию дефектов упаковки как прямое следствие невыполнения оптимальных условий образования резонансной ковалентной связи и, следовательно, более высокого значения плотности состояний на поверхности Ферми.

Таким образом, особенности кристаллического строения тантала и ниобия приводят к тому, что с повышением чистоты этих металлов, характер пластической деформации становится ведущим фактором формирования структуры на различных масштабных уровнях, определяющим важнейшие структурно-чувствительные свойства. Не углубляясь в феноменологию процесса, можно указать на связь характера пластической деформации с конечной микроструктурой отожженного образца через центры рекристаллизации, которые образуются всегда в местах максимальных искажений кристаллической решетки, созданных деформацией. Наличие в тантале и ниобии тугоплавких примесей (в основном вольфрама и молибдена) обуславливает появление при деформировании локальных областей, значительно разориентированных относительно окружения. Таким образом, с уменьшением количества тугоплавких примесей в изготавливаемой на танталовом производстве АО «УМЗ» продукции уменьшилось и количество центров рекристаллизации при тех же технологических схемах и параметрах.

Неравномерность деформации ведет к неравномерности распределения центров рекристаллизации по всему объему заготовки, что в свою очередь приводит к появлению неравномерной микроструктуры, большому количеству малоугловых границ, а на прокатной продукции является источником появления жесткой текстуры и анизотропии свойств.

Рассмотрим более подробно деформирование литого металла прессованием по классической схеме изготовления танталовой и ниобиевой продукции - схеме осадки-выдавливания предварительно нагретых до температуры 750-950^{0}C заготовок. При осадке на «глухой матрице» металл растекается до заполнения контейнера по диаметру, с уменьшением высоты заготовки. При этом максимальная сдвиговая деформация осуществляется в периферийных слоях заготовки с уменьшением ее к центру заготовки.

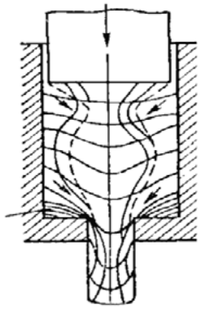


Рисунок 2. Неоднородность течения материала при выдавливании

При выдавливании максимальная сдвиговая деформация также осуществляется в периферийных слоях. По оси прутка деформация осуществляется только за счет напряжений растяжения, без осуществления сдвиговой деформации – рисунок 2.

То есть при таком наборе деформации однородной проработки материала заготовки по всему объему не достигается.

Важно понимать, что для снижения усилия при деформировании по стандартной схеме производится нагрев заготовок до 750-950^{0}С. Так как тантал и ниобий необходимо предохранять от газонасыщения при повышенных температурах, заготовки перед нагревом очехловываются в медные оболочки. После деформирования производится стравливание медной оболочки, осветление поверхности заготовок травлением. При осуществлении нескольких циклов осадки-выдавливания эти операции повторяются. Кроме того при каждом цикле деформирования образуются отходы в виде прессутяжин, стружки.

Увеличение степени деформации по указанной выше технологической схеме затруднено вследствие снижения выхода годного, увеличения затрат на реагенты, материалы, электроэнергию, что приводит к значительному уменьшению рентабельности продукции.

Экономически целесообразно проводить деформирование заготовок в холодном состоянии (отпадает необходимость нагрева заготовок с заключением их в медные оболочки). Однако осуществление холодного деформирования по существующей схеме на оборудовании с высокой скоростью деформирования невозможно, резко возрастает усилие деформирования. В то же время, проведенные Дьюзбери М.С. [3] исследования показали, что сопротивление деформации для очень чистых металлов с ОЦК решеткой значительно уменьшается с уменьшением скорости деформирования, принципиальный вид зависимости возникающих напряжений при различных скоростях деформации показан на рисунке 3.

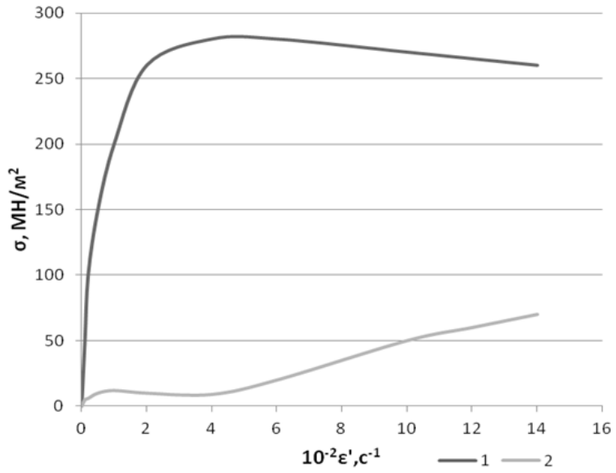


Рисунок 3. Типичные кривые напряжение–деформация для чистых металлов с ОЦК решеткой (получены на образцах монокристаллов молибдена):
1. при скорости движения бойка пресса 14 мм/с,
2. при скорости движения бойка пресса 0,3 мм/с

Для поликристаллических тантала и ниобия, согласно проведенным в производственных условиях исследованиям, трехстадийная кривая 2 (см. рисунок 3) также наблюдается, конечно, не столь ярко выраженная, и при меньших степенях деформации односторонего сжатия (скорость деформации не превышала 5×10^{-2} с$^{-1}$).

На основе проведенных исследований была разработана новая технологическая схема обработки заготовок с применением свободного холодного деформирования по трем направлениям на низкоскоростных прессах. При этом на каждой операции производится смена направления деформирования – рисунок 4.

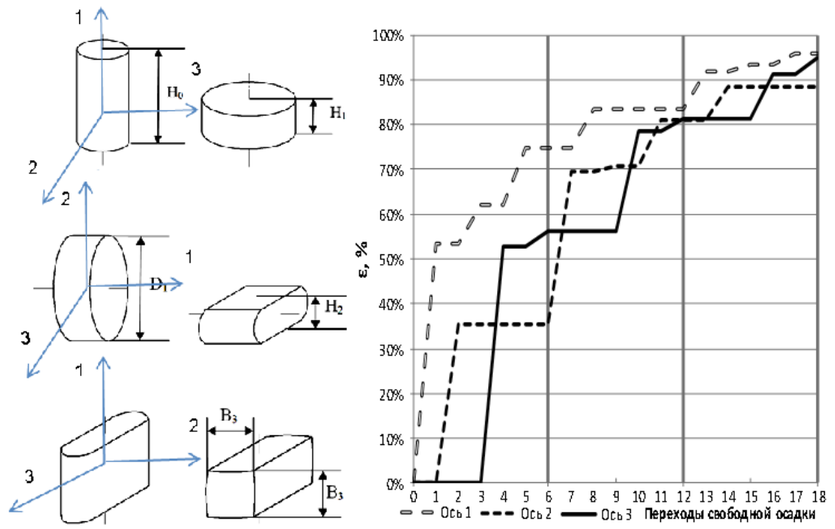


Рисунок 4. Накопление степени деформации по осям заготовки

На рисунке 4 проиллюстрирована методология расчета карты деформирования реальной заготовки. В подобных расчетах учитывается степень деформации по осям заготовки только в главных направлениях действующих напряжений. Вертикальными линиями 6, 12, 18 указаны места отжига.

В целом, такая схема холодного всестороннего деформирования (ХВД) обеспечивает возможность многократного циклического деформирования путем изменения направления действия главных и касательных напряжений на границах деформируемого объема после очередного цикла обработки. Это позволяет достигать высоких значений интенсивности и однородности накопленных деформаций, причем на каждом акте деформирования можно обеспечить заданную величину сжатия.

Уместно привести сравнение микроструктуры танталовых прутков Ø152,4×247 мм, изготовленных с применением классической и новой технологий (с применением циклов ХВД) – рисунок 5.

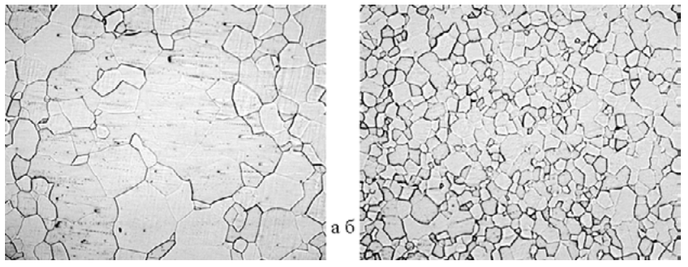


Рисунок 5. Сравнение микроструктуры прутков изготовленных по: а) классической технологии; б) новой технологии

По новой технологии исходная заготовка подвергается 3 циклам ХВД с промежуточными отжигами между циклами при температуре 950^{0}С. Как видно, микроструктура прутка изготовленного по новой технологии значительнее однородней, чем по классической технологии. Средняя величина зерна 50-70 мкм. Классическая технология изготовления таких прутков предусматривает несколько циклов осадки и выдавливания на прессах усилием 1 600 тс и 7 500 тс. Технология достаточно трудоемкая и дорогостоящая. Тем не менее, технология не обеспечивает достаточной однородности зерна по объему заготовки. Средняя величина зерна 30-130 мкм.

Решение проблем дефектообразования выявляющихся при глубокой вытяжке и штамповке связано с применением модифицирования кристаллической структуры тантала иттрием. Установлено, что введение иттрия даже в небольших количествах (1-10 ppm) значительно повышает температуру начала рекристаллизации. Иттрий, из-за малой растворимости в тантале, распределяется по границам зерен, задерживает миграцию границ и, вследствие этого, резко ограничивает рост зерна при собирательной рекристаллизации. Микроструктура изделия после отжига при повышенной температуре остается мелкокристаллической с достаточно развитыми границами зерен, что позволяет повысить прочностные и пластические характеристики изделий.

Классическая технология предусматривает осуществление цикла осадки-выдавливания, получение заготовки под прокатку экструзией на прессе усилием 1 600 тс. Перечисленные операции осуществляются с нагревом заготовок, очехлованных в медные оболочки. Для того чтобы получить полностью рекристаллизованную структуру в пределах №7-8 баллов зерна, необходимо производить конечный отжиг при температуре выше 1 500^{0}С. Но, проведение термообработки ленты и фольги при температуре выше 1 450^{0}С приводит к диффузионному свариванию слоев фольги в рулоне и в конечном итоге к браку продукции.

На рисунках 6-7 показана характерная микроструктура TaY ленты, толщиной 0,25 мм, после отжига при температурах 1 500^{0}С и 1 600^{0}С, изготовленной по стандартной технологии.

Рисунок 6. Лента 0,25 мм. Отжиг 1 500^{0}С. Бал зерна №8 ед. 7,5

Рисунок 7. Лента 0,25 мм. Отжиг 1 600^{0}С. Бал зерна №8 ед. 7,5

Температуры 1 500^{0}С, рисунок 6, недостаточно для прохождения полной рекристаллизации, рекристаллизация полностью завершается лишь при 1 600^{0}С – рисунок 7.

Во время проведения исследований, касающихся применения ХВД для изготовления прокатной продукции из тантала и ниобия модифицированных иттрием, был выявлен эффект снижения температуры рекристаллизации. По новой технологии заготовки под прокатку подготовлены методом холодного всестороннего деформирования (осуществление одного цикла деформирования по описанной выше схеме) на прессе усилием 2 000 тонн. Сравнение свойств ленты/фольги по существующей и новой технологиям приведено на рисунках 8-9.

Рисунок 8. Сравнение микроструктуры TaY ленты толщиной 0,254 мм: а) Классическая технология (отжиг 1 500^{0}С); б) Новая технология (отжиг 1 150^{0}С)

Рисунок 9. Сравнение микроструктуры TaY фольги толщиной 0,075 мм: а) Классическая технология (отжиг 1 500^{0}С); б) Новая технология (отжиг 1 150^{0}С)

— По существующей технологии заключительный отжиг ленты и фольги производится при температуре 1 500^{0}С – при более высокой температуре происходит сваривание витков ленты/фольги (для тонкой фольги толщиной 0,1 мм и менее проведение отжига невозможно и при температуре 1 500^{0}С). При таком отжиге отмечается наличие остаточной текстурированности в ленте, вследствие этого, по отзывам Потребителей, отмечается неудовлетворительная штампуемость с образованием фистонов или дефектов в виде «отпечатков пальцев», как показано на рисунке 1.
— По новой технологии снижается температура заключительного отжига (~1 150^{0}С) с получением микроструктуры без остаточной текстурированности. Соответственно улучшаются структурная однородность, однородность механических свойств (с получением требуемых пластических характеристик), эксплуатационные характеристики продукции (штампуемость).

Таким образом, пользуясь теоретическими расчетами и опытными данными, удалось разработать схему деформирования металла в холодном состоянии, которая позволяет улучшить структурную однородность, однородность механических свойств и, соответственно, улучшить эксплуатационные характеристики продукции.

Прогнозируется значительное увеличение сферы применения метода ХВД, так как данный метод обработки давлением тантала и ниобия позволяет получать свойства существенно более высокие в сравнении с традиционными технологиями, а также, с меньшими затратами.

В настоящее время проводятся исследования по разработке технологии изготовления танталовых мишеней-дисков для применения в электронике (напыление чипов). В таких мишенях, кроме получения микроструктуры с однородным распределением зерен, требуется еще и определенная кристаллографическая ориентация зерен. Получение такой структуры в мишенях традиционными методами невозможно. Имеются предпосылки получения требуемых свойств и кристаллографических направлений при использовании для изготовления мишеней метода холодного всестороннего деформирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Савицкий Е.М., Бурханов Г.С., Поварова К.Б., Йенн Г., Хёрц Г. и др.*** «Тугоплавкие металлы и сплавы»: металлургия, 1986 г. 352 с.
2. ***Трефилов В.И., Мильман Ю.В., Фирсов С.Ф.*** Физические основы прочности тугоплавких металлов : «Наукова думка» 1975 г 294 с.
3. ***Duesbery M.S., Foxall R.A.*** – «Phil. Mag.».

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ И МАТЕРИАЛОВ В ФИЛИАЛЕ «ИВТ-ЗЕРДЕ» ТОО « ИВТ»

Халенов О.С., Кемельбаева А.С., Токсанбаев Б.Ж., Балтабаев А.Ж., Торебеков А.К., Косунов А.О., Копбаева М.П.
Филиал «ИВТ-ЗЕРДЕ» ТОО «ИВТ», ЮКО, п. Таукент, Казахстан

ТОО «Институт высоких технологий» (ТОО «ИВТ») – специализированный отраслевой институт, в составе АО «НАК «Казатомпром», который решает задачи научно-технического, проектно-конструкторского, аналитического обеспечения урановой отрасли.

В Филиале «ИВТ-Зерде» ТОО «ИВТ» реализован инвестиционный проект «Создание и организация лаборатории исследования и анализа материалов (ЛИАМ)». Современная лаборатория исследования и анализа материалов введена в эксплуатацию в 2016 г.

Развитие аналитического сервиса АО «НАК «Казатомпром» является актуальной и крайне важной задачей на сегодняшний день для атомной промышленности Казахстана.

Деятельность ЛИАМ направлена на развитие аналитического сервиса, совершенствования корпоративной программы единства измерений, улучшение методической работы по разработке специализированных корпоративных стандартов, а так же научно-исследовательские работы в области добычи переработки урана, РМ и РЗМ, экологии.

Существующие на сегодняшний день аналитические лаборатории АО «НАК «Казатомпром», выполняющие в настоящее время элементный анализ закиси-окиси урана (ЗОУ), в большей степени ориентированы на обеспечение аналитического сопровождения производства добычи-переработки урана.

Квалифицированный персонал, современное аналитическое оборудование ЛИАМ позволяет, как сопровождать научно-исследовательские работы так и оказывать аналитические услуги в области атомной промышленности:

- аналитическое сопровождение НИР в области геологоразведочных работ, добычи и переработки урана, РМ и РЗМ;
- разработка методик выполнения измерений РМ и РЗМ в продуктах уранового производства;
- проведение радиологических и экологических исследований;

- испытание ионообменных сорбентов для уранодобывающих предприятий;
- оказание комплекса услуг предприятиям горнодобывающего сектора РК по контролю проб грунтов, почвы, воды (сточной, природной, питьевой), технологических урансодержащих растворов, материалов используемых в атомной промышленности, а так же радиометрического анализа производственных помещений, оборудования, транспортных средств, металлолома и т.д.

Современное оборудование ЛИАМ позволяет обеспечить:

- пробоподготовку образцов для выполнения различных видов анализа, в том числе: дробление, истирание, микроволновое разложение;
- элементный и изотопный анализ проб методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС);
- элементный анализ проб методами атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП АЭС), атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС);
- анализ состава проб методами спектрофотомерии, ИК-спектрометрии;
- определение микро- и нано-структуры поверхности различных материалов при помощи электронной, сканирующей микроскопии;
- определение физико-механических характеристик ионообменных смол;
- радиометрический, дозиметрический и радионуклидный анализ методом альфа-, гамма-спектрометрии.

Таким образом, в ЛИАМ сформирован большой комплекс методов измерений, позволяющий всесторонне исследовать образцы проб воды, продуктов переработки урана, РМ и РЗМ, материалов используемых в атомной промышленности и т.д. Специалистами лаборатории систематически ведутся работы для создания мобильных и экспресс-методов анализа.

Реализация инвестиционного проекта ЛИАМ позволит расширить возможности Филиала «ИВТ-ЗЕРДЕ» не только в сфере аналитических услуг, но и в сфере радиоэкологических исследований, развития инструментальной и аналитической базы системы учета и контроля ядерных материалов и создать аналитический центр способный решать широкий спектр задач.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ДЛЯ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

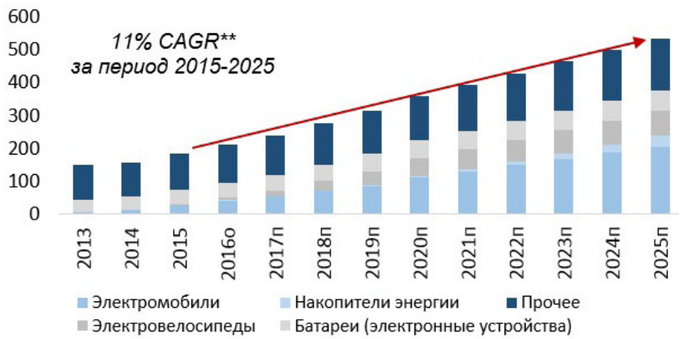
[1,2]Бишимбаева Г.К., [1]Жандаев Н.М, [1]Жумабаева Д.С., [2]Сень С.М.
[1]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан;
[2]АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан

Литий считается ключевым, стратегическим материалом в экономике экологически чистых технологий, который подпитывается достижениями в области электромобилей, хранения энергии и электроники. Он считается самым перспективным анодом для батарей следующего поколения из-за его высокой плотности энергии 3 840 мАч/г.

Министерство энергетики США определило литий как важнейший материал, спрос которого, как ожидается, резко вырастет в среднесрочной перспективе, с литиевыми аккумуляторами во главе. Ожидается, что спрос на литиевые батареи, особенно из стран потребителей – Индии и Китая, значительно возрастет по мере роста спроса на гибридные электрические и полностью электрические автомобили с подключаемым модулем [1,2].

Согласно данным Геологической службы США, сегодня спрос на аккумуляторные литиевые батареи значительно превышает спрос на литиевые батареи для использования в мобильных телефонах, беспроводных инструментах, MP3-плеерах и портативных компьютерах и планшетах.

Ожидается, что мировой спрос на литий вырастет с 184 000 тонн в 2015 году до 534 000 тонн к 2025 году со среднегеометрическим темпом роста в 11% (рисунок 1).



Источник: Deutsche Bank, Inside EV, Самрук-Казына

Рисунок 1. Динамика мирового спроса на литий, тыс. тонн (2013-2025 гг.)

Электромобили станут основным драйвером роста, составляя около 38% совокупного спроса на литий к 2025 году по сравнению с 14% в 2015 году. Положительная динамика также будет поддержана снижением стоимости производства литиевых батарей, что сделает их более конкурентоспособными, чем существующие аналоги.

В то же время ожидается, что спрос на литий для производства систем хранения энергии вырастет с 400 тонн в 2015 году до 33 800 тонн к 2025 году, составляя более 6% совокупного спроса на данный металл. Использование систем хранения энергии на основе литиевых технологий стало экономически целесообразным для широкого спектра индустриального и розничного применения [3].

Литий является основным компонентом перезаряжаемых аккумуляторных батарей, которые, в свою очередь, используются в качестве двигателей различных видов электромобилей. Развитие технологий и растущая стоимость эксплуатации двигателей внутреннего сгорания привели к росту спроса на электромобили и снижению стоимости их производства.

Таким образом, ожидается, что продажи электромобилей вырастут с 3,7 млн единиц в 2015 году до 15,9 млн единиц к 2025 году, составляя около 14% мирового рынка автомобилей. Стоимость производства систем на основе литиевых батарей будет меньше аналогичной стоимости двигателей внутреннего сгорания к 2025 году, делая электромобили более конкурентоспособными.

Разработчики компании Solid Energy Systems, основанной выходцами из знаменитого MIT (Массачусетского технологического института), объявили о готовности вывести на коммерческий уровень новую перезаряжаемую литий-металлическую батарею. Разработка предлагает вдвое большую емкость по сравнению с литий-ионными аккумуляторами, используемыми сейчас в потребительской электронике [4].

Рисунок 2. Изменение емкости и размера литий-металлических батарей нового (третьего) поколения по сравнению литий–ионными аккумуляторами предыдущих (нулевого, первого и второго) поколений

Литий металлические батареи третьего поколения с удвоенной плотностью энергии вдвое меньшего размера могут обеспечить такое же время автономной работы смартфона, как и ее литий-ионные аналоги.

Компания SolidEnergy планирует, что первые смартфоны и переносные устройства с такими батареями появятся в начале 2017 года, а в 2018 году - электрокары. Тем не менее, первой областью использования станут дроны.

Таким образом, ключевым моментом литий-ионных аккумуляторов нового поколения является технология получения металлического лития. Научная новизна настоящего

проекта заключается в сокращении технологических переделов при производстве металлического лития, т.е. из сподуменовой руды металлотермическим восстановлением получают металлический литий, что позволяет значительно снизить затраты как на приобретение оборудования, так и сырья, и материалов.

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛИТИЯ

В настоящее время для получения металлического лития его природные минералы или разлагают серной кислотой (кислотный способ), или спекают с CaO или $CaCO_3$ (щелочной способ), или обрабатывают K_2SO_4(солевой способ), а затем выщелачивают водой. В любом случае из полученного раствора выделяют плохо растворимый карбонат лития Li_2CO_3, который затем переводят в хлорид LiCl. Электролиз расплава хлорида лития проводят в смеси с KCl или $BaCl_2$ (эти соли служат для понижения температуры плавления смеси).

Первые систематические исследования процессов металлотермического восстановления редких щелочных металлов были проведены русским химиком И.Н. Бекетовым [5,6], получившим металлические рубидий и цезий действием алюминия на RbOH и CsOH.

В настоящее время наблюдается возрождение их на базе достижений современной вакуумной техники. В первую очередь следует отметить работу Кролла и Шлехтена[6]. Авторы восстанавливали в вакууме магнием, алюминием и кремнием фторид и хлорид лития, а также окись лития, полученную термическим разложением карбоната в вакууме при 850°C.

Термодинамический анализ реакций, что большинство из них характеризуется положительными значениями изменения энергии Гиббса особенно велики они для восстановления фторидов и хлоридов:

$$LiX + M \rightarrow Li + MX, \text{ где } X — F, C1, O$$

Это является следствием того, что соединения лития с кислородом и, особенно, с фтором и хлором, термодинамически более прочны, чем соответствующие соединения наиболее активных металлов-восстановителей (Na, Ca, Mg, A1 и др.). При таких термодинамических характеристиках осуществление металлотермического процесса становится возможным при условии удаления получаемого металла из зоны реакции или связывания получаемых продуктов каким-либо компонентом, дополнительно вводимым в исходную шихту.

Наиболее подходящими для восстановления оксида лития оказались элементарный кремний и металлический алюминий, имеющие высокие температуры кипения.

При восстановлении лития кремнием в шихту вводят оксид кальция, который связывает образующийся оксид кремния и препятствует образованию силиката лития. Суммарная реакция процесса может быть выражена уравнением:

$$2\ Li_2O + Si + 2\ CaO \rightarrow 4\ Li + Ca_2SiO_4;\ \Delta G_{1000} = -351\ кДж$$

Оксид лития, необходимый для процесса, получают термическим разложением карбоната лития. Для этого нагревают в вакууме при 850°C брикетированную смесь Li_2CO_3 и CaO, взятых в соотношении 1:1,5. Оксид кальция добавляют для предотвращения плавления карбоната и облегчения удаления углерода. Полученную смесь оксидов измельчают, шихтуют с кремнием, который берется с избытком 10%, нагревают в вакуумной печи при давлении 0,1 Па и температуре 1 000-1 300°C. Извлечение лития при 1 000°C составляет 75%, а при 1 300 °C увеличивается до 93%. Основные примеси в металлическом литии: 0,01% Si и 0,04% Ca.

При восстановлении оксида лития алюминием в шихту также добавляют оксид кальция, который связывает образующийся оксид алюминия и препятствует образованию алюмината лития:

$$3\ Li_2O + 2\ Al + CaO \rightarrow 6\ Li + Ca(AlO_2)_2;\ \Delta G_{298} = +81\ кДж$$

Лучшие результаты по получению лития повышенной чистоты дает восстановление алюмината лития, которое не требует введения в шихту CaO.

$$6\ LiAlO_2 + 2\ Al \rightarrow 6\ Li + 4\ Al_2O_3;\ \Delta G_{298} = +428\ кДж$$

Исходный алюминат получают путем взаимодействия стехиометрических количеств карбоната лития и оксида алюминия в вакууме при 900-1 000°C. Процесс восстановления проводят при давлении 10 Па и температуре 1 150-1 200°C. Извлечение лития достигает 95-98%.

Металлотермические методы получения лития представляют особый интерес в применении непосредственно к минеральному сырью. Пока в полупромышленном масштабе применяется только прямое получение лития из сподумена при нагревании его в смеси с восстановителем и карбонатом кальция [7]. По этому способу при нагревании в вакууме (0,01 мм рт. ст.) до 1 100° гранулированной смеси состава (вес. %) сподумена – 40, алюминия – 5, окиси кальция – 55. Выход составляет порядка 94%. Дистиллированный литий собирается в конденсаторе в виде компактного слитка чистотой до 90%. Основная примесь в нем — магний, переходящий в черновой металл из природного известняка. Содержание примесей в черновом металле (вес. %) Mg – 5-38, Na – 0,6-7,5, K – 1-2[7,8].

В дальнейшем полученный литий очищают методом вакуумной дистилляции.

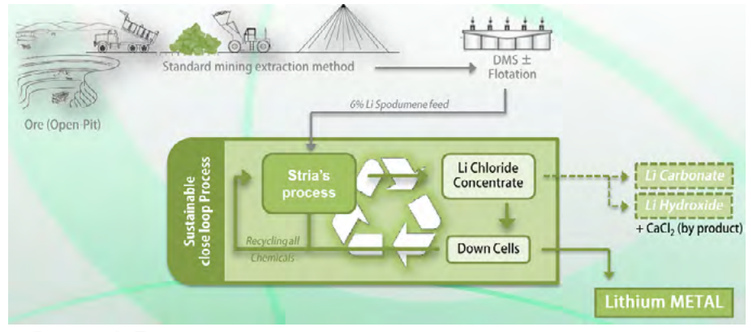


Рисунок 3. Технологическая схема лития металлического и литиевых солей по технологии компании Stria Lithium

В настоящее время ведущие мировые компании работают над разработкой инновационных технологий получения металлического лития [9-13]. Канадская компания Stria

Lithium разработала новый способ получения литий-металла из сподумена. Сырьем служит сподумен из месторождения Pontax для получения хлорида лития, из которого получают литий-металл [14]. Хлор высвобождается и рециклируется в процессе (рисунок 3).

Американская корпорация alpha-En разработала инновационную экологически чистую технологию для производства металлического лития, а также запатентованный метод изготовления анода из металлического лития для использования в батареях нового поколения (рисунок 4) [15].

Достоинствами этого процесса являются: использование в качестве сырья карбоната лития, что снижает затраты на сырье; процесс проходит при комнатной температуре; в процессе используется жидкий металл и не требует ртути; в ходе процесса не выделяется токсичный газообразный хлор; в результате получается высокочистый металлический литий.

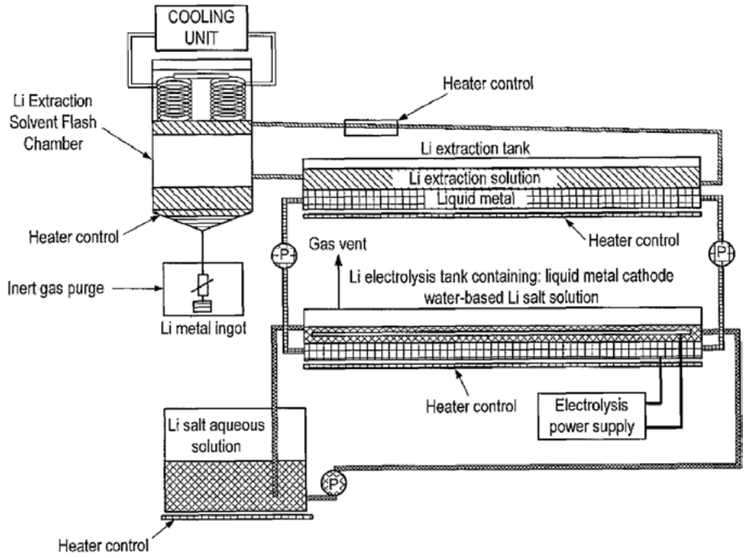


Рисунок 4. Технологическая схема корпорации alpha-En по получению металлического лития

ТОО «Институт высоких технологий» реализует проект по гранту АО «НАТР» на коммерциализации технологий получению карбоната лития аккумуляторного сорта из сподуменового казахстанского сырья, результаты которого могут служить основой для создания литиевого кластера в Казахстане [16,17].

В рамках реализации этого проекта нами совместно с ТОО «ChemicalRecycling KZ» разработана инновационная технология технология получения лития металлического на основе газооксидантного выщелачивания литиевых руд (рисунок 5).

К особенностям предлагаемой инновационной технологии получения лития металлического из сподуменовых руд относятся следующие положения:

— технологический цикл процесса резко сокращен, что снижает себестоимость готовой продукции, затраты на приобретение дополнительного оборудования и затраты на эксплуатацию производства;

— дешевый исходный материал – сподуменовая руда, не требует создания обогатительной фабрики. Вспомогательными материалами являются дешевые и доступные каменная соль и вода;
— процессы получения газообразного хлора, раствора хлорида лития и его очистка протекает при комнатной температуре;
— процесс электролиза продуктивного раствора и получения металлического лития осуществляется при температуре порядка 400^{0}C;
— процесс не несет экологическую нагрузку на окружающую среду. Высвободившийся в процессе газообразный хлор возвращается в голову процесса (замкнутый цикл);
— возможность получения карбоната лития и гидроксида лития.

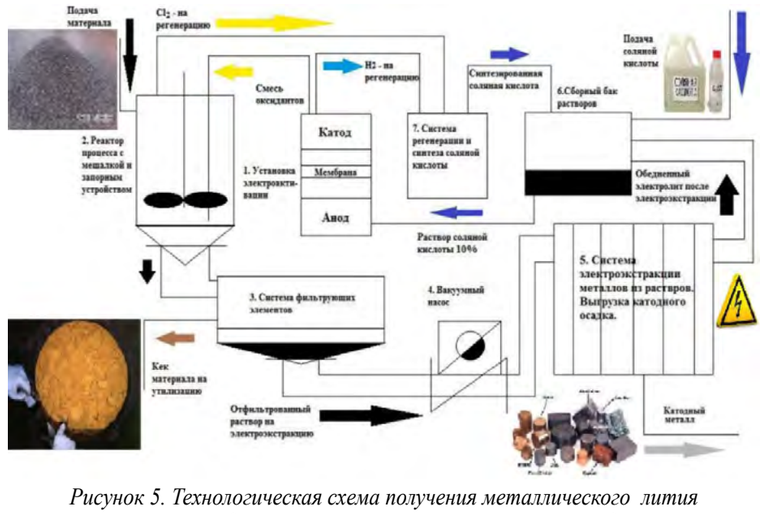


Рисунок 5. Технологическая схема получения металлического лития газооксидантным выщелачиванием литиевых руд

Сравнительный анализ современных инновационных процессов получения лития металлического показывает явное преимущество разрабатываемой технологии получения лития металлического газооксидантным выщелачиванием литиевых руд (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение инновационных процессов получения лития металлического

Технология	Исходное сырье	Кол-во переделов	Температура процесса	Токсичные газы	Себестоимость
Традиционные технологии	Сподумен	5	400 -600°C	хлор	Высокая
STRIA Litium, Canada.	Сподумен концентрат	4	400 -600°C	Замкнутый цикл по хлору	Средняя
alpha-En Corporation, США	Карбонат лития технический (дорогостоящий)	2 + 2	Комнатная температура	отсутствует	Средняя
Chemical Recycling, Казахстан	Сподумен, сподуменовый концентрат	3 - 4	400 -600°C	Замкнутый цикл по хлору	Низкая

Таким образом, предлагается инновационная технология получения металлического лития 99,9% для литий-металлических аккумуляторов нового поколения. Научная новизна заключается в сокращении технологических переделов при производстве металлического лития, т.е. на основе этой технологии из сподуменовой руды сразу получаем

литий металлический, что позволит значительно снизить затраты как на приобретение оборудования, так и сырья и материалов. Реализация настоящего проекта позволит создать предпосылки для организации в Казахстане инновационного литиевого высокотехнологичного кластера по схеме:

Сподуменовые руды→Литий металлический→ Элементы Li_2S/Li met → Аккумуляторы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Перспективы мирового рынка лития: высокий потенциал роста, основанный на развитии индустрии электромобилей. (http://sk.kz/research/regionalnye-i-globalnye/3518/)
2. П***леханов С.И.*** О современном состоянии мирового рынка лития. / Плеханов С.И., Наумов А.В., Кошкин К.Н. // НПП «Квант» «Автономная энергетика. Технический прогресс и экономика». – 2011. – № 28. – с. 3-12.
3. ***Lee Christoffersen, Jay Ague, Thomas Graedel***. A Strategic Metal for Green Technology: The Geologic Occurrence and Global Life Cycle of Lithium// Yale University, 2010, 80 p.
4. ***Georges J. Kipouros, Donald R. Sadoway***. Toward New Technologies for the production of Lithium.// Journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 1998, May, web.mit.edu.
5. ***Плющев И.Е., Степин Б.Д.*** Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия. «Химия». 1970.
6. ***Николаев И.В***. Металлургия легких металлов [Текст] : учебник / И.В. Николаев, В.И. Москвитин, Б.А. Фомин. – М. : Металлургия, 1997. – 442 с. – Библиогр. : с. 422. – ISBN 5-229-01165-3.
7. ***Белоцветов А.В. и др***. Химическая технология. Учебник для студентов хим. Специальностей. М.: Просвещение – 1976 г., 319 с.
8. ***W.A. Averill and D.L. Olson***, «A Review of Extractive Processes for Lithium from Ores and Brines», Energy, 3 (1978), pp. 305–313.
9. ***DeYoung***, «Production of Lithium by Direct Electrolysis of Lithium Carbonate», U.S. patent 4,988,417 (29 January1991).
10. ***Georges J. Kipouros and Donald R***. Sadoway. Toward New Technologies for the Production of Lithium.// JOM, 1998, May.
11. Lithium Guangyuan Wesley Zheng. Li Metal Anodes and Sulfur Cathodes through Nanomaterial Design. Stanford University June, 2, 2015.
12. ***Yingying Lu, Zhengyuan Tu, and Lynden Archer***. Stable Lithium Electrodeposition in Liquid and Nanoporous Solid Electrolytes. School of Chemical and Bio-molecular Engineering, Cornell University, Ithaca, NY 14853-5201.
13. ***Steven C. Amendola, Lawrence Swonger, Stefanie Goldman***. Electrolytic production of lithium metal. Patent US 8715482 B2, 2014.
14. ***Gary Economo, Julien Davy***. New Process for Green Technology//NAATBAT Annual Meeting&Conference, 2015.
15. The Clean Lithium Process – Lowest Cost, Highest Purity, Cleanest Technology https://alpha-encorp.com/our-process/
16. ***Kosunov A.O., Bishimbayeva G.K., Zhumabayeva D.S., Zhandayev N.M***. To the Question of Creation of the Lithium Cluster in Kazakhstan. //ICITE 2016: Industrial Technologies and Engineering : III International Conference , Shymkent c., 28-29 October 2016/ Shymkent c., 2016 – p.59-65.
17. Kosunov A., Bishimbayeva G., Zhandayev N., Zhumabayeva D., ***Kopbayeva M***. Prospects for the Production of Lithium Carbonate for Lithium Batteries in Kazakhstan // International Battery Seminar & Exhibit, March 20-23, 2017, Fort Lauderdale, FL, USA

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДА ЦИНКА, ЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОМ

Смайлова А.Б.
АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

На основе сочетания полупроводниковых и пьезоэлектрических свойств оксида цинка было разработано несколько важных прототипов устройства, такие как наногенераторы, транзисторы, диоды, датчики давления, которые являются конечной целью данного исследования. Наногенераторы на основе нанопроволок могут быть подвергнуты действительно большим деформациям, так что они могут быть использованы для гибких электронных устройств источника питания. Большая степень деформации, которая может быть выдержана нанострежнем, приведет к большей объемной плотности энергии на выходе. Будущее в нанотехнологических исследований лежит в области от одиночных устройств до массива многофункциональных устройств и интегрированных наносистем. Таким образом, стоит задача в разработке нового устройства, основой которого явится оксид цинка. Легирование титаном данного материала позволит получить значительно привлекательные свойства, а также КПД солнечной батареи, по предварительным расчетам, должно достигнуть 45-47%.

Цель работы: получение чистого и легированного титаном оксида цинка экспериментально с помощью химического метода.

Описание полученных образцов посредством различных методов анализа для выявления наночастиц с наилучшими свойствами.

Компьютерное моделирование структуры чистого оксида и изучение свойств для дальнейшего использования этих данных для расчета конечного КПД устройства.

Методы исследования:

1. гидротермальный метод;
2. метод сканирующей микроскопии;
3. метод рентгеноструктурного анализа;
4. метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии;
5. квантово-механические методы компьютерного моделирования.

Результаты исследования: всесторонне изучен целый ряд свойств материала. А именно, проведена релаксация решетки для проведения дальнейших расчетов, найдены параметры решетки оксида цинка, распределение плотности состояний. Рассчитаны обе составляющие диэлектрической постоянной, определены пьезоэлектрические константы. Все расчеты находятся в хорошем согласии с ранее проведенными экспериментами. Также были рассчитаны константы для оксида кадмия и магния. Основной задачей явилось определение устойчивого положения для атома титана при добавлении его в решетку оксида цинка. Таковым явилось положение титана на месте цинка.

Что касается экспериментальной части работы, определены оптимальные условия гидротермального роста, необходимые для получения материала в форме наностержней.

В таблице 1.1 указаны характеристики роста.

Таблица 1.1. Условия роста и соответствующие параметры решетки образца оксида цинка

Полный объем реагентов, мл	Время роста, ч	Концентрация $(CH_3COO)_2Zn_2$ H_2O, М/л	*t*, °C	a, Å	c, Å
30	24	0,2	150	3,27	5,19

Далее проведен рост оксида цинка, легированного титаном.

Перспективы реализации проекта: следующим шагом явится расчет конечной КПД с использованием полученных входных данных. Рассчитанные константы не только для оксида цинка, но и для оксидов магния и кадмия, позволят рассчитать конечную многослойную структуру устройства. Знание оптимальных условий роста наностержней оксида цинка позволят провести опыт по получению легированных образцов с дальнейшим запуском промышленного производства материала. В конечном итоге, данное исследование является необходимым этапом разработки нового типа наногенераторов.

УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЗАХСТАНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ПОПУТНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ

[1]Демехов Ю.В., [2]Есемханов Ч.Д., [2]Копбаева М.П., [2]Кумарбекова А.Т.
[1]АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан
[2]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Основные запасы урана (73%) на территории Казахстана сосредоточены в недрах пластово-инфильтрационных месторождений Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской провинций, которые, в свою очередь, входят в состав крупнейшей в мире Притяньшаньской (Восточно-Туранской) урановорудной мегапровинции [рис 1, 2].

Образование месторождений данного типа связывается с деятельностью кислородосодержащих инфильтрационных вод, отлагавших растворенный выщелоченный уран и сопутствующие ему компоненты на восстановительном «геохимическом барьере».

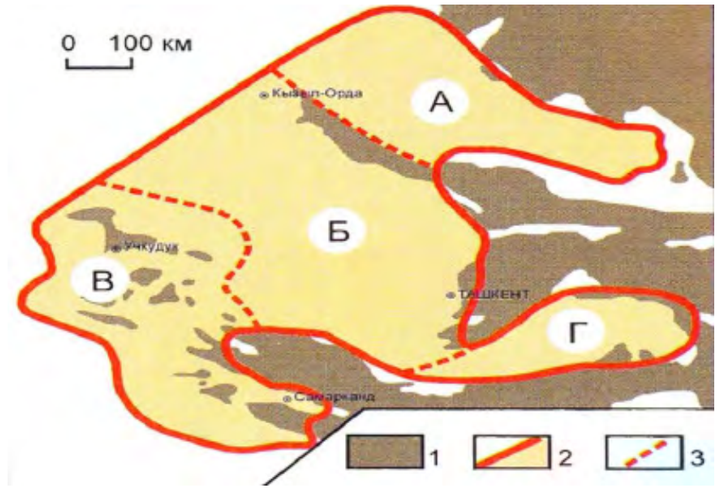


Рис.1. Притяньшаньская урановорудная провинция [2]. Урановорудные районы: А – Чу-Сарысуйский, Б – Сырдарьинский, В – Кызылкумский, Г – Ферганский

Отмечается прямая зависимость качества руд от восстанавливающей способности пород, определяемой наличием органики, пирита и других восстановителей [1].

По составу рудных компонентов среди месторождений этого типа выделяются: собственно урановые; урановые с примесью рения; селено-урановые и урано-ванадиевые. Ренеиносные тела со средней концентрацией рения от 0,1 до 1 г/т локализуются, как правило, в контурах урановорудных песчаных залежей. Очень часто концентрация рения прямо коррелируется с содержанием урана и углистого вещества. Собственно урановые и рениевоносные урановые месторождения характерны для Чу-Сарысуйской провинции. В Сырдарьинской провинции преобладают селено-урановые и ванадий урановые месторождения [3].

Селен – закономерный спутник урана в пластово-инфильтрационном процессе, образующий эпигенетические аккумуляции практически на всех месторождениях рассма-

триваемого типа. Основная минеральная форма – самородный γ-селен. Для формирования существенного по масштабам пластово-инфильтрационного селенового оруденения требуется наличие благоприятного источника элемента – в виде его более ранних аккумуляций в областях питания или циркуляции кислородных пластовых вод. Данные благоприятные источники отсутствуют в Чу-Сарысуйской провинции. Ресурсы селена, соизмеримые с урановыми, подобные тем, которые выявлены в Сырдарьинской депрессии, пока не обнаружены. В соответствии с некоторой пространственной разобщенностью селеновых и урановых руд в продуктивных горизонтах и спецификой локализации Se преимущественно в окисленных породах для этого элемента (самородная форма) необходима разработка самостоятельной геотехнологии. Установлено, что селен переходит в раствор в кислой и карбонатной средах только в присутствии сильного окислителя (хлора), такие же окислители, как кислород и пероксид водорода, неэффективны.

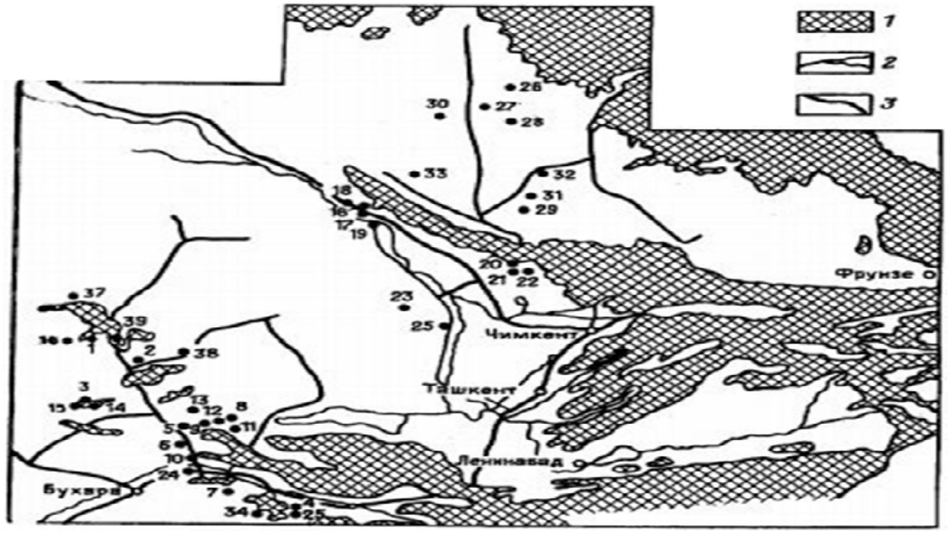


Рис.2 Схема расположения полиэлементных пластово-инфильтрационных месторождений Притяньшаньской мегапровинции [4]:1 – выходы кристаллического фундамента; 2 – основные водные артерии; 3 – дороги; месторождения: 1 – Учкудук, 2 – Сугралы, 3 – Рудное, 4 – Сабырсай, 5 – Букинай, 6 – Южный Букинай, 7 – Кетменчи, 8 – Лявлякан, 9 – Бешкак, 10 – Северный Канимех, 11 – Вараджан, 12 – Терекудук, 13 – Аленды, 14 – Косчека, 15 – Харасан, 20 – Кызылколь, 21 – Лунное, 22 – Чаян, 23 – Заречное, 24 – Северный Майзак, 25 – Шарк, 26 – Жалпак, 27 – Мынкудук, 28 – Уванас, 29 – Канжуган, 30 – Инкай, 31 – Моинкум, 32 – Торткудук, 33 – Буденновское, 34 – Агрон, 35 – Асарчик, 36 – Мейлысай, 37 – Бахалы, 38 – Актау, 39 – Кендыктюбе.

Молибден – с концентрациями в сотые и десятые доли процента как спутник урана в пластово-инфильтрационных рудах встречается довольно часто, особенно на месторождениях с повышенным количеством углистого вещества или с активным проявлением термального восстановительного эпигенеза. Молибден как промышленно значимый спутник урана в Казахстане известен лишь на ураноугольном месторождении Кольджат.

Рений – широко распространен на пластово-инфильтрационных месторождениях Притяньшаньской мегапровинции, причем более высокие его содержания в рудах - в среднем 0,8-2 г/т - установлены на месторождениях Центрально-Кызылкумской провинции, меньшие содержания - в основном 0,2-0.5 г/т - на месторождениях Сырдарьинской и

Чу-Сарысуйской провинций. Установлено, что рений создает эпигенетические рудонакопления на большинстве пластово-инфильтрационных месторождений в породах, содержащих углистое органическое вещество или эпигенетические восстановители. Его концентрации до целых граммов на тонну выделяются в роллообразные тела, совмещенные с урановорудным роллом, иногда смещенные в передовую часть профиля рудоконтролирующей эпигенетической зональности.

Ванадий, как спутник урана на эпигенетических месторождениях в проницаемых осадочных породах известен давно. По присутствию в пластово-инфильтрационных рудах ванадия в Притяньшаньской мегапровинции выделяют два типа месторождений: канимехский (Центральные Кызылкумы), где ванадий является лишь спутником урана при резком преобладании последнего, и жаутканский (Сырдарьинская депрессия), где ванадий становится основным полезным компонентом, а уран присутствует лишь в подчиненных количествах. На этом месторождении ванадиевое роллообразное тело, оконтуренное по бортовому содержанию 0,01%, перекрывает урановорудную залежь. На месторождениях Чу-Сарысуйской провинции ванадий не образует сколько-нибудь заметных, а тем более промышленно-значимых скоплений, хотя локальные его проявления встречаются часто.

Скандий эпигенетически накопленный в урановорудной зоне в настоящее время достоверно установлен в коньяк-сантонских отложениях на месторождении Северный Канимех в Центральных Кызылкумах, месторождениях Северный, Южный Карамурун и Северный Харасан в Сырдарьинской депрессии и ряде других объектов. Во всех случаях они связаны с породами богатыми пиритом, но бедными карбонатным веществом (Северный Канимах) либо относительно бедными пиритом, но практически не содержащими карбонатов (Южный Карамурун). Контур повышенных концентраций скандия в песках на указанных месторождениях вписывается в мешковую часть урановорудного ролла, иногда с некоторым смещением в сторону зоны неокисленных безрудных (по урану) пород.

Иттрий и лантаноиды в качестве компонентов, сопутствующих урану, установлены в рудах тех пластово-инфильтрационных месторождений и тех рудовмещающих горизонтов, которые содержат эпигенетический скандий. Корреляционной связи между редкоземельными элементами и ураном не установлено[4,5,6].

Урановые месторождения Чу-Сарысуйской и Сырдарьинской провинций отрабатываются методом сернокислотного подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Высокая эффективность способа ПСВ привела к снижению требований промышленности к качеству уранового сырья, что, в свою очередь, позволило с принципиально новых позиций подойти к проблеме возможности использования ряда полезных компонентов, являющихся спутниками урана в пластово-инфильтрационном процессе. Было обосновано положение о том, что при реализации способа ПСВ, когда геотехнологическим раствором обрабатывается бóльший объем горнорудной массы, чем это необходимо, в процесс выщелачивания должны вовлекаться полезные компоненты, содержащиеся не только в самих урановых рудах, но и в непосредственной близости от них в едином водоносном горизонте.

Количество попутных полезных компонентов (ППК) за счет большого объема циркуляционных растворов ПСВ урана, несмотря на их низкие концентрации (н-р, Re и Sc от 0,05 до

0,5мг/л; ∑РЗМ 15-25мг/л), представляет промышленный интерес для извлечения.
Примером организации попутной промышленной добычи полезного компонента на урановом предприятии может служить Навоийский горно-металлургический комбинат, Республика Узбекистан. Начиная с 1986 г. на предприятии действует и совершенствуется технология производства рения, позволяющая выпускать товарную продукцию в виде перрената аммония марки АР-0.

В рамках выполнения Плана мероприятий по реализации Программы научно-технологического и инновационного развития АО «НАК «Казатомпром» на 2014-2016 гг. ТОО «ИВТ» был проведен комплекс исследовательских работ по оценке возможности извлечения ППК на уранодобывающих предприятиях.

Изучение материалов геологических и геотехнологических исследований, мирового рынка металлов, мировой научно-технической информации о способах и промышленном опыте позволило определить рений, скандий и РЗМ как полезные компоненты попутная добыча, которых в рамках уранового производства, может быть рентабельной.

В результате проведения лабораторных исследований были разработаны технологические схемы извлечения данных металлов и осуществлен предварительный технико-экономический расчет, позволивший определить экономическую целесообразность попутной добычи рения на урановом производстве [6].

Проведение испытаний разработанных ТОО «ИВТ» технологий извлечения рения в опытно-промышленном масштабе, позволит получить объективные данные для расчета технико-экономического обоснования (ТЭО). При показателях, демонстрирующих эффективность разработанных технологий, действия направленные на развитие проекта с обозначением комплекса мер необходимых для организации попутной добычи рения в рамках уранового производства, в конечном итоге, обеспечат предприятиям АО «НАК «Казатомпром» получение дополнительной прибыли от реализации нового вида товарной продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Джакишев М.Е., Язиков В.Г., Дуйсебаев Б.О.*** Атомная промышленность Республики Казахстан// Атомная энергетика и безопасность АЭС. 2001 выпуск №1, март, с. 15;
2. ***Язиков В.Г.*** Минералогия урана. Уч.пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2010. - 170 с.
3. Геолого-промышленные типы урановых месторождений Казахстана. http://megaobuchalka.ru/8/26187.html
4. ***Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б., Плеханов В.Н., Вершков А.Ф., Лухтин В.Ф.*** Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алматы: Гылым, 1995 – 264 с.
5. Подземное выщелачивание полиэлементных руд. Под редакцией академика Лаверова Н.П. – Москва, изд-во Академия горных наук, 1998, 448 с.
6. Разработка и проведение ОПИ на горнорудных и металлургических предприятиях АО «НАК «Казатомпром» комплекса ресурсо- и природосберегающих технологий добычи и переработки сопутствующих урану ценных компонентов» : Отчет ТОО «ИВТ» в 2-х частях/Алматы - 2014 г – 246 с.

УРАН-БЕРИЛЛИЕВОЕ ТОПЛИВО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ» - ПЕРСПЕКТИВНОЕ АВАРИЙНО-УСТОЙЧИВОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Леваневский И.О., Русин Ю.Г., Фотин А.Е.
АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

События на АЭС «Фукусима-1» в 2011 году наглядно продемонстрировали актуальность разработки новых видов топлива, которое в аварийных ситуациях с нарушением работы системы охлаждения будет дольше и надежнее сохранять свою целостность в сравнении со стандартным топливом на основе диоксида урана и цирконием в качестве основного материала оболочки ТВЭЛов. В связи с этим международный интерес в области безопасного и надежного использования ядерного топлива привел к исследованиям, направленным на разработку топлив с повышенной устойчивостью к авариям.

Одним из вариантов повышения безопасности топлива является увеличение его теплопроводности, что приводит к снижению температуры топлива и, следовательно, выходу газовых продуктов деления (ГПД) при одинаковом уровне мощности реактора. Сохраненная энергия, которая также является проблемой для первой стадии проектных аварий, также снижается за счет повышения теплопроводности топлива.

Достижение поставленной цели многие исследователи видят в создании на основе стандартного топлива UO_2 для легководных реакторов LWR (PWR, BWR) композитного топлива, имеющего в матрице UO_2 составляющую с высокой теплопроводностью. В качестве такой составляющей предлагается вольфрам, карбиды углерода или кремния, непосредственно кремний и т.д. Учитывая неизбежное при рабочих температурах реактора химико-термическое взаимодействие UO_2 с такими составляющими, а также высокие коэффициенты поглощение ими нейтронов, приходится констатировать проблематичность, а в отдельных случаях и неэффективность использования таких топливных композиций в качестве перспективных видов аварийно-устойчивого топлива для LWR (таблица 1) [1.2].

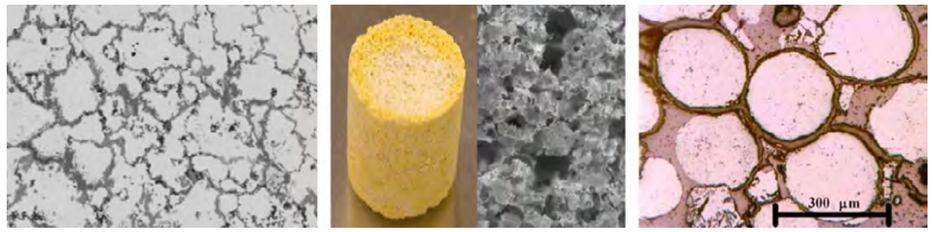
Таблица 1. Характеристики различных кандидатных добавок для изготовления таблеток с повышенной теплопроводностью

Композитные добавки	Плотность, г/см³	Теплопроводность, Вт/(м×К)	Температура плавления, К	Эффективное сечение поглощения, барн
BeO	3,01	265	2 770	0,0086
UO_2	10,97	10,3	3 120	-
MgO	3,58	36,0	3 100	0,0033
CaO	3,34	15,0	2 613	0,182
Al_2O_3	3,80	30,2	2 327	0,01
ZrO_2	5,70	1,7	2 983	0,01
ThO_2	10,0	8,2	3 400	0,132
SiC	3,21	70	2 730	-
Mo	10,28	139	2 900	2,48
W	19,25	174	3 700	18,3

Учитывая возникающие проблемы, в настоящее время наиболее перспективным материалом для матрицы UO_2 является оксид бериллия (BeO), т.к. оксид бериллия от-

личает высокая теплопроводность (~265 Вт/м×К), низкое сечение захвата нейтронов, хороший показатель замедления нейтронов, высокая температура плавления (2 550°С), химико-термическая инертность (отсутствие взаимодействия с UO_2 при температурах до 2 160°С), при этом коэффициент теплового расширения BeO практически совпадает с аналогичным коэффициентом для UO_2. Кроме этого в активной зоне реактора BeO при пороговой энергии 1,85 МэВ может стать и дополнительным источником нейтронов по реакции (n, 2n)[3.4,5].

В Научном центре (НЦ) АО «УМЗ» созданием перспективного аварийно-устойчивого топлива с BeO в качестве композитной составляющей занимаются с 2005 года. В начале в НЦ АО «УМЗ» отрабатывалось направление по созданию уран-бериллиевого топлива (УБТ) со сплошной фазой из BeO, структура которого представляла собой «сетку» из BeO по границам отдельных зерен и блоков UO_2 (рисунок 1а). Такой же подход был предложен и опробован американскими исследователями из университета Purdue (г.Уэст-Лафейетт, США), правда, данные исследователи вначале создавали скелетон из BeO, который затем наполняли UO_2 (рисунок 1б). Более сложный для реализации и дорогостоящий подход изготовления УБТ был предложен специалистами Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) (Бразилия), заключающийся в изготовлении методом золь-гель микросфер UO_2 с нанесением на них BeO (рисунок 1в).

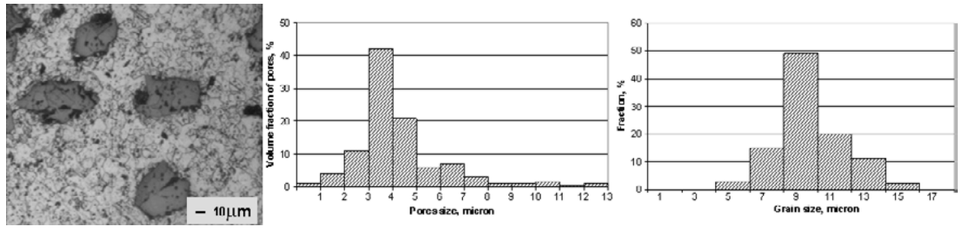


а. *б.* *в.*

Рисунок 1. Микроструктура таблеток УБТ со сплошной фазой BeO:
а. микроструктура таблетки с «сетчатым» строением производства АО «УМЗ»;
б. таблетка-скелетон с микроструктурой скелетона производства университета Purdue;
в. микроструктура таблетки из микросфер производства CDTN

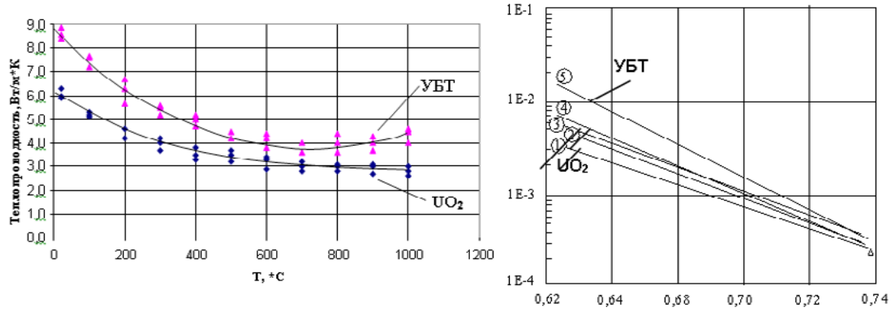
Как показали исследования создание как «сетки», так и скелетона из BeO, а тем более микросфер UO_2-BeO требует достаточно большого количества BeO в таблетке – от 14 до 35 масс.%, что значительно снижает объем делящегося нуклида в ней, при этом экономическая эффективность использования такого топлива в сравнении со штатным топливом из UO_2 просто нивелируется. Учитывая же сложную технологию получения такого вида топливных таблеток, заключающуюся в предварительном обволакивании каждой отдельной частицы UO_2 мелкодисперсной «шубой» из BeO перед прессованием и спеканием таблеток, становится очевидной неэффективность такого подхода при массовом изготовлении УБТ.

В 2007 году в НЦ АО «УМЗ» был отработан другой вариант изготовления таблеток УБТ – получение таблеток с прерывистой фазой из BeO, заключающийся во введении кристаллитов BeO в порошок UO_2. Такой способ показал низкую затратность технологии изготовления УБТ, а при небольшом количестве введенного BeO (~3 масс.%) приемлемое повышение теплопроводности таблеток (~30%) (рисунок 2). При этом материаловедческие испытания УБТ с получением результатов по основным значимым характеристикам - теплопроводности, скорости ползучести, микроструктуре и термической стабильности геометрических размеров таблеток были достаточно оптимистичными (рисунок 3).



а. *б.* *в.*

Рисунок 2. Характеристики микроструктуры УБТ с прерывистой фазой BeO:
а.- микроструктура УБТ; б. – распределение пор по размерам; в. – распределение зерна по размерам



а. *б.*

Рисунок 3. Материаловедческие характеристики УБТ и UO_2
а. теплопроводность; б. ползучесть

Кроме этого предварительные расчеты поведения УБТ производства АО «УМЗ» в активной зоне реактора ВВЭР-1000 сделанные специалистами ИБРАЭ РАН (г.Москва) и ИАЭ НЯЦ РК (г. Курчатов) также были оптимистичными: активная зона ВВЭР-1000 с загрузкой УБТ работоспособна; температурный запас плавления топлива до кризиса кипения теплоносителя, соответственно, увеличивается в 2 раза и возрастает на 23%; возможно увеличение выгорания УБТ относительно штатного на 30÷40%; выход ГПД под оболочку ТВЭЛ может снизиться в 5-8 раз, что, в свою очередь, позволит уменьшить распухание топлива в 1,5-1,8 раз.

В 2010 году в международном Проекте Реактор Халден (HRP) были начаты реакторные исследования УБТ с прерывистой фазой из BeO производства АО «УМЗ», имеющего в своем составе 3 масс. % BeO.

С 2010 года по 2014 год в реакторе Halden (HBWR) было проведено многоцелевое облучение композитного УБТ производства АО «УМЗ». В составе экспериментальной ТВС находился также топливный стержень из UO_2, который служил эталоном для сравнения его с поведением УБТ при облучении.

Испытание проводилось в условиях насыщенного хладагента HBWR (235°С и 28 бар), которые являются адекватными для исследования характеристик топлива. Топливный

стержень УБТ в составе экспериментальной ТВС был оборудован термопарой топливного сердечника (TF) и детектором удлинения топлива (EF) на верхнем конце, при этом датчик давления (PF) был прикреплен к нижнему концу стержня. Инструментарий позволил оценить основные свойства облучения, такие как уплотнение топлива, распухания, тепловые характеристики и динамику давления газа при облучении.

Уплотнение топлива и распухание с выгоранием, которые являются важными параметрами для ядерного топлива, определялись по измерениям удлинения топлива, нормированным на те же условия. Данные показывают, что уплотнение топлива УБТ (~ 0,9 об.%) немного больше, чем для топлива UO_2 (5 об.%), при этом распухание примерно на 1,0% /10 МВт/кг UO_2 аналогично тому, что для и для топлива UO_2 (рисунок 4).

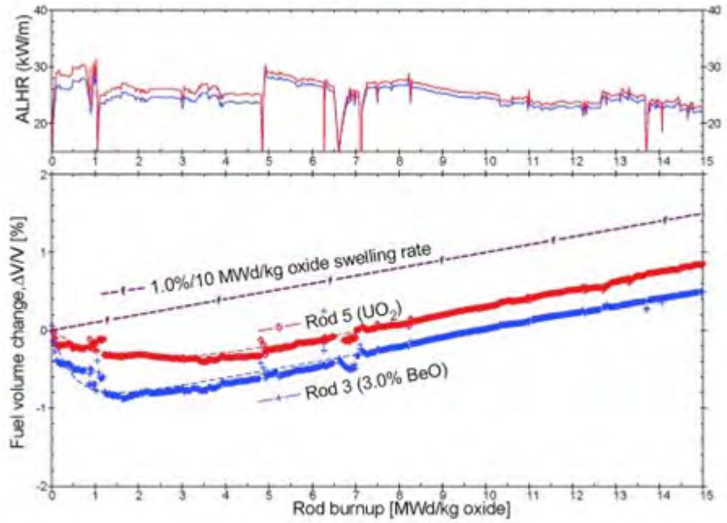


Рисунок 4. Изменение геометрических размеров УБТ в сравнении с UO_2

Тепловые характеристики топлива УБТ при облучении являются одной из наиболее важных частей теста, проведенного в HBWR. Топливо облучалось до выгорания около 35 МВт×сут/кгU наряду со стержнем UO_2. Облучение проходило при линейной мощности стержня в диапазоне 20-30 кВт/м, при этом линейной мощность стержня УБТ была на 1-2 кВт/м ниже, чем для топливного стержня UO_2. В этих двух стержнях была измерена разница между температурой топливного центра в зависимости от скорости выработки тепла. История изменения мощности и измеренные температуры топливного центра показаны на рисунке 5.

Для оценки тепловых характеристик УБТ под облучением, измеренные температуры топлива были нормализованы до такой же мощности, что и для стержня UO_2 и нанесены на график против выгорания, как показано на рисунке 6. Для того чтобы повысить выход ГПД при различных выгораниях, частоты повышения мощности выполнялись несколько раз во время теста. Чтобы установить начало выхода ГПД в зависимости от выгорания, измеренные давления газа были нормализованы до нулевой мощности в зависимости от среднего выгорания (рисунок 7). Наряду с давлениями стержня отмечались пороговые значения температуры выхода ГПД (сплошные линии), регистрируемые в топливных таблетках (в центральных участках). Полученные данные показали порог выхода ГПД

в топливе UO_2, который составил 1 250°C, при этом выход ГПД в УБТ не был зафиксирован, учитывая поддерживающееся стабильное давление газа в стержне с УБТ по сравнению с аналогичной тепловой мощностью для топлива UO_2.

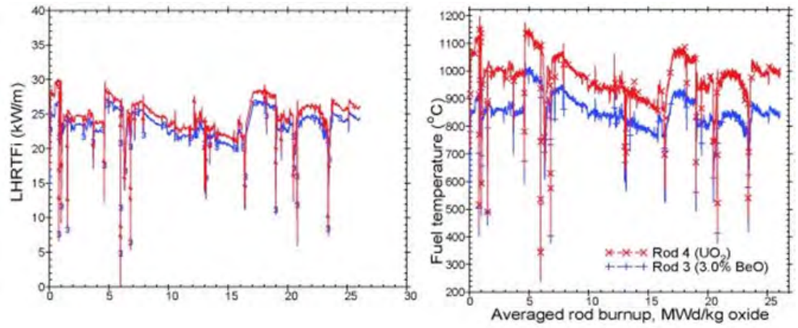


Рисунок 5. История мощности и температура топлива, измеренные в УБТ и эталонном стержне UO_2 как функция среднего выгорания

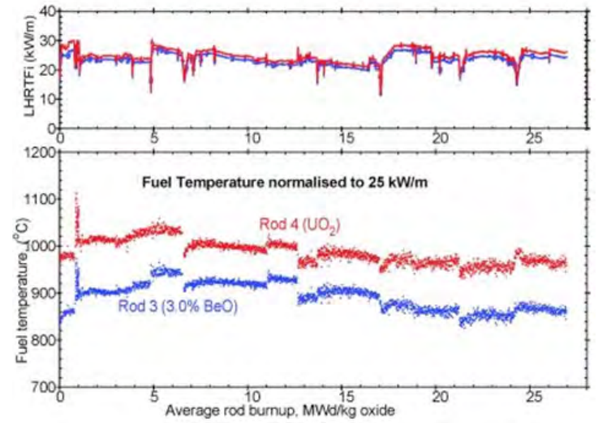


Рисунок 6. История мощности и температура топлива нормализованы до 25 кВт/м в УБТ и эталонном стержне UO_2 относительно среднего выгорания

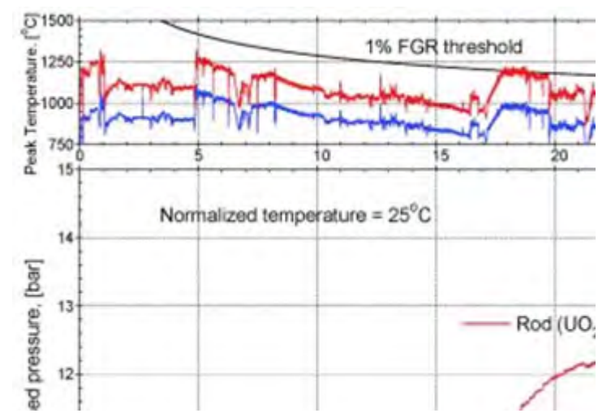


Рисунок 7. Пиковая температура топлива и измеренное давление газа стержня, нормализованное до 25°C в УБТ и эталонного стержня UO_2 относительно выгорания

Таким образом, основная цель реакторных исследований УБТ производства АО «УМЗ» в HRP заключалась в том, чтобы получить первые данные о поведении УБТ при облучении, в частности, оценить его термо-механическую устойчивость и теплопроводность. Топливо облучалось в течение 700 дней до выгорания около 35 МВт×сут/кгU. Измерения давления в топливных стержнях продемонстрировало отсутствие ГПД в УБТ при аналогичной линейной мощности для топлива UO_2 из-за более низкой температуры УБТ.

В ближайшее время облучение УБТ производства АО «УМЗ» в HRP будет продолжено с целью изучения деградации теплопроводности топлива при облучении, что позволит оценить эксплуатационный ресурс данного топлива. В связи с чем следующей важной задачей облучения топлива УБТ будет определение теплового порога выхода ГПД – основного параметра, определяющего историю деградации топлива. Кроме этого в рамках данного исследования планируется проведение тестов по оценке поведения УБТ при проектных авариях типа LOCA&RIA. Полученные данные позволят как для разработчиков топлива, так и его потенциальных потребителей определить ресурсные возможности УБТ, а также его поведение в условиях возможных проектных и запроектных авариях реакторных блоков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Latta R., Revankar S.T., Solomon A.A.*** «Modeling and Measurement of Thermal Properties of Ceramic Composite Fuel for Light Water Reactors», Heat Transfer Engineering, 29(4), 357-365, 2008.
2. ***McCoy K., Mays Cl.***, «Enhanced thermal conductivity oxide nuclear fuels by co-sintering with BeO: II. Fuel performance and neutronics» J. Nuclear Materials, 375 (2008), 157-167.
3. ***Russin Y., Shahvorostov Y., McGrath M., Gagarin A., Volkov B., Kuchkovski A.***, «Innovative fuel development in ULBA (Kazakhstan) and testing in the Halden Reactor», WRFPM, TopFuel 2011, Chengdu, China, Sept. 11-14.
4. ***Kim D-Joo, Rhee Y.W., Kim J-H. et al.***, «Fabrication of microcell UO_2-Mo pellets with enhanced thermal Conductivity», J. of Nuclear Materials 462, (2015), 289-295.
5. ***Kovalishin A.A., Proselkov V.N., Sidorenko V.D., Stogov Y.***, «On the possibility of using Uranium-Be Oxide Fuel in VVER reactor», ISSN 1063-7788, Physics of Atomic Nuclei, 2014, Vol 77, No 14, pp 1661-1663.

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО УРАНА В АО «УМЗ»

Гусакова Г.В., Кузьмин К.А., Рыжков С.Г., Ярошенко Н.Н.
АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

В настоящее время высокообогащенный уран (ВОУ) в Казахстане используется в топливе исследовательских реакторов, принадлежащих НЯЦ РК. Известно, что использование ВОУ сопряжено со значительной степенью риска, связанной с обращением, транспортированием и долговременным хранением продуктов или изделий, которые могут быть похищены и использованы в военных программах.

Одним из возможных путей решения вопроса предотвращения возможности несанкционированного «переключения» ядерных материалов высокообогащенного урана является программа по снижению обогащения, с последующим вовлечением делящегося материала в энергетический оборот.

В 1993 году между Россией и США был подписан Меморандум об основных принципах исполнительного контракта по Соглашению, предусматривающему перевод высокообогащенного урана в низкообогащенный, и обозначенному как «ВОУ-НОУ».

С Казахстанской стороны исполнителями работ по Соглашению являлись Национальная атомная компания «Казатомпром» и АО «Ульбинский металлургический завод».

Известно, что решение проблемы утилизации ядерных материалов, имеющих в своем составе высокообогащенный уран, по своей сложности и затратности вполне сопоставимо с уровнем сложности их производства. В рамках данного Соглашения, используя богатый опыт в применении и модернизации технологий переработки урансодержащих материалов специалистами Уранового производства АО «УМЗ» был создан участок по переработке и разбавлению ВОУ-НОУ. На данном участке успешно была проведена кампания по переводу высокообогащенного топлива реактора БН-350 в низкообогащенный уран, к тому времени остановленного в г. Актау. Чуть позднее в рамках данного Соглашения между США и Казахстаном была подписана программа возвращения топлива исследовательских реакторов российского производства (RRRFR) Национального управления по ядерной безопасности (NNSA) Министерства энергетики США (DOE). Уже в рамках данной программы в АО «УМЗ» после модернизации участка ВОУ-НОУ было переработано топливо исследователь-ского реактора ВВР-К, принадлежащего ИЯФ НЯЦ РК.

Финансирование всех этапов проектов «Исследование, разработка технологии, строительство и лицензирование установки в АО «УМЗ» по переработке высокообогащенного урана из исследовательского реактора ВВР-К, осуществление мониторинга и экспертизу его выполнения взяли на себя Департамент энергетики США (DOE).

В настоящее время в рамках Программы инициирован следующий ее этап - переработка и разбавление ВОУ в НОУ топлив исследовательских реакторов ИГР и ИВГ.1М.

Если на участке ВОУ-НОУ переработка топливных таблеток реактора БН-350 была основана на традиционных технологиях, используемых в АО «УМЗ», базирующихся на

классической технологии АДУ-процесса, то для разработки технологий разбавления топлив исследовательских реакторов НЯЦ РК все обстояло иначе.

Ядерный топливный материал реакторов ВВР-К и ИГР представляет не классический обогащенный диоксид урана (UO_2), а тепловыделяющие сборки, состоящие из алюминиевой матрицы с диспергированным в ней сплавом UAlx, (для реактора ВВР-К), и графитовые блоки с гомогенно распределенным в них ураном в виде уранилнитрата (для реактора ИГР).

К настоящему времени в мире известен целый ряд методов переработки ядерного топлива. Все существующие методы можно разделить на две группы: методы вскрытия с разделением материалов оболочки и сердечника твэла и методы вскрытия без отделения материала оболочки от материала сердечника. В обоих случаях используют водно-химические, высокотемпературные и механические способы переработки.

Выбор метода вскрытия твэлов для конкретной технологии зависит от свойств материала оболочки, конструкции твэлов, принятой технологии химической переработки ядерного топлива, а также необходимости обеспечить определенную производительность процесса.

На сегодняшний день АО «УМЗ» обладает уникальной технологией, запатентованной в Республике Казахстан, позволяющей перерабатывать различные по виду и составу материалы. Несмотря на универсальность технологии АО «УМЗ», для реализации проекта ВОУ-НОУ, требовалось решить целый ряд научно-исследовательских, технологических и конструкционных задач.

Основными критериями выбора технологии являлись универсальность, мобильность, компактность и экономическая целесообразность. Обеспечение всех перечисленных критериев стало возможным путем использования высокотемпературных и водно-химических способов переработки.

Для переработки топлива реактора ВВР-К была разработана технология химического извлечения урана из алюмосодержащего материала, представляющего собой непосредственно трубчатые твэлы реактора, которые предварительно подвергались фрагментации.

Разработанная технология полностью соответствовала требованиям универсальности и максимального приближения к принятым в АО «УМЗ» технологическим процессам и позволяла переводить высокообогащенный материал в низкообогащенный с использованием одинаковых технологических операций.

Для переработки и разбавления топлива реактора ИГР был применен совершенно другой подход. Исследовательский реактор ИГР – импульсный реактор на тепловых нейтронах с гомогенной уран-графитовой активной зоной теплоемкостного типа является одним из старейших в мире исследовательских реакторов, который и сегодня является уни-кальным источником нейтронного и гамма- излучения, отличающийся высокой динамикой изменения мощности. Ядерным топливом реактора ИГР являются графитовые блоки, пропитанные ядерным материалом. ИГР по своим характеристикам и характеристикам топлива является единственным в своем роде исследовательским реактором, не

имеющим мировых аналогов, в связи с чем, в мировой практике отсутствуют примеры переработки и разбавления в НОУ такого типа топлива.

Для оптимизации и сокращения затрат на проведение исследовательских работ по разработке технологии переработки и разбавления топлива ИГР, исследовательские работы проводились на имитаторах топлива – графитовых матрицах (стержнях), пропитанных низкообогащенным ураном.

Исходя из характеристик графитовых материалов, особенностей применяемой в АО «УМЗ» экстракционно-осадительной технологии получения соединений урана, при проведении исследований основное внимание было уделено изучению возможности переработки и разбавления не традиционного для нашего предприятия топливного материала, используя имеющиеся наработки.

При выборе метода разбавления топлива реактора ИГР просматривалась необходимость исследования возможности переработки графитовых матриц с диспергированными в поры частицами урана методом выщелачивания, и отделения графита от урана способом его температурного окисления. В обоих случаях требовалась предварительная операция механического разрушения и измельчения графитовых матриц.

Для возможности отработки выбранной технологии в условиях лаборатории были изготовлены имитаторы топлива реактора ИГР на основе низкообогащенного урана. Моделирование имитаторов проводилось путем дублирования способа изготовления реального уран-графитового топлива. В полученных образцах с помощью метода растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа исследована и показана достигнутая равномерность распределения урана в графитовой матрице.

Исходя из наличия уже имеющегося в АО «УМЗ» участка переработки ВОУ, экономически оправданным был признан подход, включающий операцию измельчения топлива ИГР, термическое окисление графита, растворение в кислоте образующихся при этом оксидов урана, корректировку раствора по U-235 (разбавление ВОУ-НОУ), осаждение поли-ураната аммония и прокаливание его до закиси-окиси урана.

Приоритетными показателями при выборе окончательной технологической схемы переработки материалов ИГР являлись: продолжительность технологического про-цесса, степень извлечения урана в раствор, количество образуемых жидких и твердых отходов, расход материалов.

Проведенный анализ показал, что преимущество технологической схемы, предусматривающей операцию окисления графитовых материалов, состоит в достижении достаточно высокой степени извлечения урана, незначительном количестве твердых и жидких отходов. Тем не менее, в ходе исследований в этом случае был определен наиболее проблематичный в плане интенсификации технологический процесса разбавления топлива ИГР передел – операция термического окисления графитового материала. Процесс термического окисления графита предполагает удорожание технологической схемы переработки из-за значительной продолжительности указанной операции.

Разработанная технология разбавления топлива реактора ИГР позволяет практически без потерь перевести высокообогащенный уран из графитовой матрицы в раствор и по-

сле снижения обогащения получить закись-окись низкообогащенного урана с минимальным образованием технологических отходов.

Благодаря нестандартному, гибкому подходу при принятии технологических решений в сочетании с высокой организацией труда, в АО «УМЗ» удалось решить сложную проблему перевода высокообогащенного урана в низкообогащенный, внеся тем самым свой заметный вклад в совместные усилия мирового сообщества по сдерживанию ядерной угрозы и нераспространению материалов, являющихся потенциальной основой оружия массового уничтожения.

Реализованный Национальной атомной компанией «Казатомпром» и АО «УМЗ» проект по переводу высокообогащенного урана в низкообогащенный можно назвать многоцелевым, имеющим политический и социальный аспекты. Важность рассматриваемого проекта трудно переоценить, поскольку он был направлен на решение глобальной задачи, имеющей цель исключение угрозы распространения особо опасного ядерного материала. Нельзя не признать, что задача такого масштаба выходит далеко за рамки одного отдельно взятого государства и является проблемой мирового уровня, приобретающей все большую актуальность в настоящее время.

ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФТОРОВОДОРОДА

[1]Федорчук Ю.М., [1]Матвиенко В.В., [2]Саденова М.А., [2]Толепбергенова Р.А., [2]Утегенова М.Е., [3]Воронков Н.Н.

[1]Томский политехнический университет (ТПУ), Томск, Россия;
[2]Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Амонжолова (ВКГУ), Усть-Каменогорск, Казахстан;
[3]ООО «Строй материалы», Томск, Россия.

Промышленное получение фтороводорода началось почти 100 лет тому назад (в 30-х годах прошлого столетия), но особенно интенсивно это производство стало развиваться с момента появления атомной промышленности. Краткий обзор способов получения безводного фтороводорода и водного ее раствора – плавиковой кислоты, показывает наличие доминирующего способа разложения плавикового шпата серной кислотой по уравнению 1:

$$CaF_2 + H_2SO_4 = 2\ HF + CaSO_4 \qquad (1)$$

в температурном интервале от 112^0C (температура кипения азеотропной смеси 38,3% HF – остальное H_2O) до 220^0C, когда потери серной кислоты становятся ощутимыми за счет ее парциального давления.

В Томском политехническом институте в 1984-1985 гг. в лабораторных условиях были получены результаты [1], указывающие на следующий механизм взаимодействия фторида кальция с концентрированной серной кислотой в температурном интервале 170-180^0C.

$$H_2SO_4 + HF = HSO_3F + H_2O \qquad (2)$$

$$CaF_2 + 2\ HSO_3F = Ca(SO_3F)_2 + 2\ HF \qquad (3)$$

$$Ca(SO_3F)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2\ HSO_3F \qquad (4)$$

$$Ca(SO_3F)_2 = CaSO4 + SO_2F_2 \qquad (5)$$

$$Ca(SO_3F)_2 + H_2O = CaSO4 + HSO_3F + HF \qquad (6)$$

$$HSO_3F + H_2O = HF + H_2SO_4 \qquad (7)$$

$$Ca(SO_3F)_2 + 2\ H_2O = CaSO_4 + 2\ HF + H_2SO_4 \qquad (8)$$

Благодаря доказанному рентгенофазовым анализом присутствию в отвале фтороводородных печей фторсульфоната кальция был предложен и испытан в лабораторных условиях 2-х стадийный способ разложения плавикового шпата фторсульфоновой кислотой в вертикальном аппарате провального типа с последующим гидролизом образующегося фторсульфоната кальция парами воды в указанном выше температурном интервале по реакциям:

$$HF + SO_3 = HSO_3F \qquad (9)$$

$$CaF_2 + 2\ HSO_3F = Ca(SO_3F)_2 + 2\ HF; \quad (3)$$

$$Ca(SO_3F)_2 + H_2O = CaSO_4 + HF + HSO_3F \quad (10)$$

Реакция 9 протекает за 3 секунды при температуре 100^0C, реакция 3 – менее чем за 1 секунду, а реакция 10 – за 9 секунд.

По аналогии был предложен способ разложения фторапатита фторсульфоновой кислотой по реакциям 11-13 [2]:

$$CaF_2 \times 3\ Ca_3(PO_4)_2(тв) + 20\ HSO_3F(газ) + 6\ P_2O_5(тв) = 10\ Ca(SO_3F)_2(тв) + 18\ HPO_3(газ) + 2\ HF(газ) \quad (11)$$

$$10\ Ca(SO_3F)_2(тв) + 10\ H_2O(газ) = 10\ CaSO_4(тв) + 10 HSO_3F(газ) + 10\ HF(газ) \quad (12)$$

$$10\ HSO_3F(газ) + 10\ HF(газ) + 10\ SO_3(газ) = 20\ HSO_3F(газ) \quad (13)$$

В 70-80-х годах прошлого столетия известной среди специалистов-фтористоводородчиков была фирма BUS, которая запантентовала 2-х стадийный способ разложения плавикового шпата. Суть способа заключалась в следующем. Плавиковый шпат и серную кислоту в количестве 10% масс. относительно стехиометрически необходимого количества нагревали до 120^0C в предреакторе, куда вводили 5-7% масс. фтороводорода. После этого массу и оставшуюся часть серной кислоты загружали в барабанную печь, в которой ориентировочно на протяжении 2-х часов происходил процесс разложения плавикового шпата. Этот способ в СССР внедрили под руководством Гольдинова А.Л. (Гольдинов А.Л. /Докторская диссертация. Инв.№1541. 1966) и он до сих пор работают в г. Пермь, на комбинате «Галоген» (ныне ОАО «Галополимер»).

До 1995 года на заводе фтористого алюминия ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» работала схема французского исследователя Пешене «Газофазное фторирование гидроксида алюминия», в которой сернокислотно-шпатовую массу во фтороводородной печи грели извнутри мазутным факелом, а затем газы направляли в реактор на получение трифторида алюминия.

Во всех остальных случаях на территории бывшего СССР, а это: АЭХК, г. Ангарск; СХК, г. Северск, Томской области; г. Усть-Каменогорск, «УМЗ», Казахстан; г. Кувандык, ЮУКЗ, Оренбургской области; г. Полевской, «ПКЗ», Свердловской области; Кирово-Чепецкий химический комбинат, г. Кирово-Чепецк, фтороводород получали путем сернокислотного разложения плавикового шпата в барабанных вращающихся печах с наружным электронагревом в указанном ранее температурном интервале.

Вышеперечисленные производства фтороводорода как в странах СНГ, так и за рубежом сопровождаются образованием твердого отхода, безводного сульфата кальция, называемого в научной и технической литературе фторангидритом. Фторангидрит в своем составе, кроме безводного сульфата кальция, содержит недоразложившийся фторид кальция, фторсульфонат кальция и избыточную серную кислоту.

Предприятие ОАО «Галополимер» одним из первых осуществило обезвреживание твердых отходов фтороводородного производства по «сухому» способу щелочным реагентом

– самораспадающимся шлаком Чусовского металлургического завода, и в твердом виде складирует эти отходы на открытом полигоне. ОАО «ПКЗ» и ОАО «СХК» нейтрализуют кислый фторангидрит щелочным реагентом по «мокрому» способу в репульпаторе, а затем пульпонасосами перекачивают в рядом расположенный каньон в г. Полевской, и в р. Томь, в г. Северск.

В г. Усть-Каменогорск, на предприятии АО «УМЗ», по прежнему вывозят кислый, газящий, экологически опасный фторангидрит на полигон, расположенный на берегу р. Иртыш.

Обезвреженный фторангидрит в г. Перми постепенно находит свою востребованность в виде ингибитора (замедлителя сроков схватывания) портландцемента на одном из цементных заводов Урала, ангидритового вяжущего в сухих строительных смесях в г. Томске. В настоящее время идет процесс внедрения «сухого» способа нейтрализации фторангидрита тонкоизмельченным известняком в г. Северск с одновременным доведением технологии получения листов «ПАНО» (Панели АНгидритовые Отделочные) до конкурентно способного состояния листам ГВЛ фирмы «Knauf».

На предприятии АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, в 2014 году запустили отделение обезвреживания фторангидрита известняком, но положительного результата не получилось. Вместо pH=1 получили значение pH=3-4, т.е. фторангидрит по прежнему кислый, а по другому – опасный для окружающей среды.

Рассмотрим технологические схемы обезвреживания фторангидрита по «сухому» способу в ОАО «Галополимер», г. Пермь, ОАО «СХК», г. Северск, Томской области и АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан.

На рис. 1 показана технологическая схема обезвреживания и складирования фторангидрита в ОАО «Галополимер», г. Пермь.

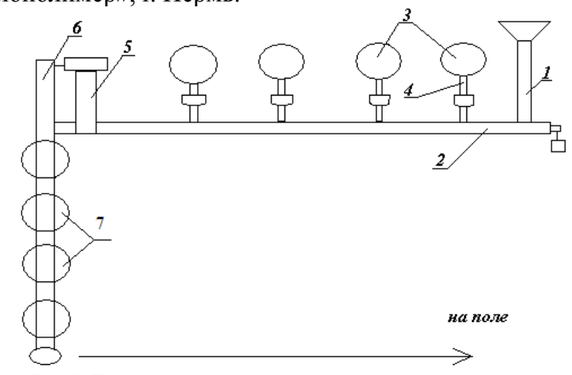


Рис.1. Технологическая схема обезвреживания и удаления фторангидрита ОАО «Галополимер» на отвальное поле:
1. транспортер подачи извести (самораспадающегося шлака); 2. транспортер перемещения фторангидрита; 3. вращающаяся печь; 4. шнек; 5. элеватор; 6. скребковый распределительный транспортер; 7. бункер-накопитель фторангидрита

Данная схема работает следующим образом. Из каждой барабанной печи (3) при помощи шнека (4) подают горячий кислый фторангидрит в цепной скребковый транспортер (2), в самом начале которого с помощью скребкового цепного транспортера (1) вводят так на-

зываемый самораспадающийся шлак Чусовского металлургического завода, представляющий собой до 70% масс. негашеной извести. Длина транспортера (2) обеспечивает необходимое время для нейтрализации кислых компонентов отвала. Затем из транспортера (2) нейтрализованный фторангидрит с помощью цепного ковшового элеватора (5) поднимают в распределительный транспортер (6), с помощью которого наполняют нейтрализованным фторангидритом бункеры-накопители (7). Из бункеров (7) нейтрализованный гранулообразный (размер гранул достигает 90 мм) фторангидрит отгружают в вагоны типа «хоппер» потребителям, а оставшуюся часть фторангидрита вывозят с помощью БелАЗов на отвальное поле. Необходимо отметить одну особенность отделения нейтрализации фторангидрита: процесс нейтрализации отвала осуществляют при температуре не ниже 120^{0}С. Отрицательная стоимость (затраты транспортирования на отвальное поле) фторангидрита ОАО «Галополимер» составляет 300 рублей за тонну.

Существующая схема нейтрализации фторангидрита в ОАО «СХК», г. Северск, аналогична технологической схеме нейтрализации фторангидрита в ОАО «ПКЗ», г. Полевской. Фторангидрит выгружают в репульпатор, в который подают воду в соотношении Т:Ж=1 : (16-20), а также нейтрализующий агент: в ОАО «СХК» - натриевую щелочь, в ОАО «ПКЗ» – известняковое «молоко». При этом, кроме нейтрализации кислых реагентов происходит еще 1 реакция, которая переводит сульфат кальция, обладающий вяжущими свойствами, в отходный двуводный гипс:

$$CaSO_4 + 2\ H_2O = CaSO_4 \times 2\ H_2O \qquad (14)$$

В настоящее время достигнута договоренность между руководством ОАО «СХК» и ООО «Строй материалы», г. Томск, о переводе «мокрой» схемы на «сухой» способ нейтрализации фторангидрита кальцийсодержащим твердым реагентом, известняком и негашеной известью. Проектируемая схема унификации фторангидрита (нейтрализации, измельчения и классификации) на ОАО «СХК», г. Северск, представлена на рис.2.

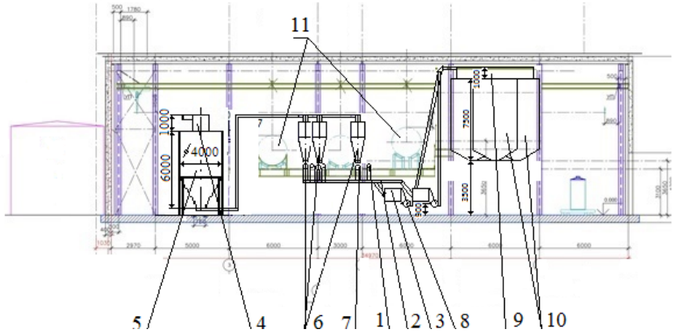


Рис. 2. Схема унификации фторангидрита в ОАО «СХК»:
1. шнек выгрузки фторангидрита из барабанных печей (11); 2. шнек-смеситель;
3. шаровая мельница-нейтрализатор; 4. циклон; 5. бункер-накопитель с измельченной негашеной известью; 6. расходный бункер с известью; 7. шнек-дозатор извести;
8. дезинтегратор-пневмотранспортер; 9. батарейные циклоны; 10. бункер-накопитель готового продукта – техногенного ангидрита; 11. барабанная вращающаяся печь

В настоящее время основное оборудование схемы унификации фторангидрита ОАО «СХК» (расходные и накопительные бункера, молотковая и шаровая мельницы, дезинтегратор-пневмотранспортер, шнеки-дозаторы) смонтировано на промышленной площадке ООО «Строй материалы», расположенной в г. Томске, завезены в контейнерах 20

тонн фторангидрита и 10 тонн негашеной извести ОАО «ИСКИТИМИЗВЕСТЬ», г. Искитим, подготовлены 2 партии техногенного ангидрита для потребителей ангидритовой продукции: Томского завода сухих строительных смесей и ОАО «Сургутнефтегаз» - композит бурового раствора. Также отмечаем одну из особенностей технологии получения унифицированного техногенного ангидрита, соответствующего ТУ 574440-001-95129669-2016 «Ангидрит техногенный» ЭКАН – во время нейтрализации фторангидрита также поддерживали температуру процесса нейтрализации не ниже 120^{0}С. При более низких температурах в процессе нейтрализации появлялся полуводный гипс, который вызывал так называемое «ложное схватывание», тем самым понижалась конечная прочность ангидритовых изделий.

Теперь рассмотрим технологическую схему отделения нейтрализации фторангидрита АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, показанную на рис. 3.

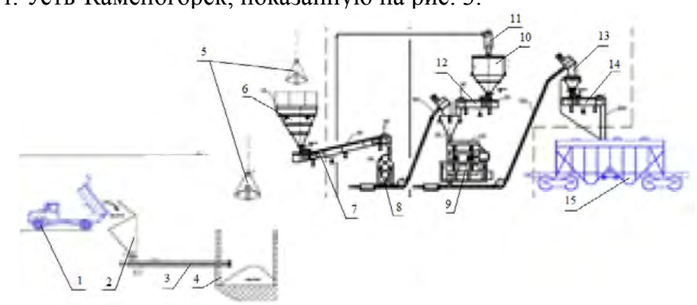


Рис. 3. Технологическая схема отделения унификации фторангидрита АО «УМЗ»:
1. автосамосвал; 2. приемный бункер фторанидрита; 3. транспортный шнек фторангидрита;
4. емкость-хранилище фторангидрита; 5. грейферное устройство; 6. расходный бункер с фторангидритом; 7. шнек-дозатор фторангидрита; 8. виброизмельчитель фторангидрита;
9. вибросмеситель; 10. расходный бункер с измельченным известняком; 11. циклон;
12. шнек-дозатор известняка; 13. бункер-накопитель нейтрализованного продукта;
14. узел загрузки ж.д. вагона; 15. вагон-хоппер

В связи с тем, что около цеха с производством фтороводорода технологически свободного места нет, руководством было принято решение создать отделение унификации фторангидрита на расстоянии около 1,5 км от месторасположения фтороводородных печей. Предположительно, схема, показанная на рис. 3, должна работать следующим образом.

Фторангидрит из фтороводородной печи выгружают в автосамосвал (1), который перевозит и выгружает газящий кислый отвал через приемный бункер (2) шнек транспортирующий (3) в бункер-накопитель (4). С помощью грейферного устройства (5) фторангидрит перегружают в расходный бункер (6) и через шнек-дозатор (7) его подают в виброизмельчитель 8, а затем пневмотранспортом направляют в вибросмеситель (9). Измельченный с помощью дезинтегратора «Горизонт» (на рис. не показан) известняк (средняя фракция – 80 мкм, но, по отзывам потребителей, до 5% масс. присутствуют частички размером до 3 мм) через циклон (11), расходный бункер (10) и шнек-дозатор (12) также направляют в вибросмеситель (9). С помощью пневмотранспорта полученный техногенный ангидрит подают в промежуточный бункер (13) и через распределительный узел (14) заполняют ж.д. вагоны или автосамосвалы нейтрализованным фторангидритом.

Проведенные в том числе сотрудниками ТПУ и ВКГУ анализы вяжущих свойств нейтрализованного фторангидрита показали разброс данных по прочности образцов на

сжатие от 5,9 до 0,9 МПа. Такой результат не удовлетворяет специалистов строительной промышленности.

С целью получения товарной продукции – техногенного ангидрита или техногенного ангидритового вяжущего удовлетворительного качества (содержание водорастворимого сульфата кальция не менее 20% масс.) необходимо провести усовершенствование отделения нейтрализации фторангидрита на АО «УМЗ», включающее:

1. дополнить схему нейтрализации шаровой мельницей и процесс нейтрализации проводить в 2 этапа: на первом этапе в качестве нейтрализатора использовать измельченный известняк и нейтрализацию осуществлять в шаровой мельнице со стехиометрически необходимым количеством известняка; на втором этапе в качестве нейтрализатора использовать измельченную негашеную известь в количестве, чтобы pH водной вытяжки нейтрализованного фторангидрита составил 7-9 единиц, и нейтрализацию проводить в существующем вибросмесителе;
2. оба процесса нейтрализации проводить при повышенной температуре 120-150^{0}С для исключения образования полуводного гипса при нижнем пределе температуры, и исключению испарения серной кислоты в атмосферу (при 250^{0}С парциальное давление серной кислоты достигает 70 мм ртутного столба), а также переходу водорастворимой формы сульфата кальция в водонерастворимую (280-320^{0}С), при верхнем пределе температуры;
3. транспортировку от печей до отделения нейтрализации фторангидрита осуществлять в контейнерах с люками верхней загрузки и нижней разгрузки с целью исключения попадания влаги воздуха и осадков во фотрангидрит и предотвращению загрязнения окружающей среды парами фтороводорода.

После получения кондиционного техногенного ангидрита и монтажа соответствующего строительного оборудования в г. Усть-Каменогорске будет открыто производство следующей ангидритовой продукции, показанной на рис. 4 и на фотографиях (рис. 5-11) в Приложении к статье.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Рис. 4. Направления использования фторангидрита

Рис. 5. Ангидрито-шлаковые блоки

Рис. 6. Лаборатория НТЦ «Резонанс» из ангидрито-шлаковых блоков

Рис. 7. Каркас

Рис. 8. Ангидрито-шлаковые каркасно-монолитные модули помещений (КММП)

Рис. 9.Транспортировка КММП

Рис. 10. Ангидрито-шлаковые КММП

Рис. 11. Ангидрито-шлаковое помещение

СНИЖЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ» ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ УРАНА

Гофман А.А., Малышкин Е.Г., Ярошенко Н.Н., Романова К.Б.
АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

Радиоактивные отходы, как негативный техногенный фактор предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), являются проблематичным аспектом, как в производственных вопросах, так и в сфере экологии. Особое место занимают жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), поскольку превалируют в образующихся производственных отходах ЯТЦ. Наиболее простым и доступным видом деятельности при обращении с жидкими отходами является их захоронение. Данный вид деятельности характеризуется простотой технологических решений и, в большинстве случаев, – наименьшими затратами. Неизбежное реформирование природоохранного законодательства ужесточает требования к захоронению отходов в части повышения тарифов. В связи с чем, снижение количества образующихся радиоактивных отходов является актуальной проблемой производственной деятельности предприятий ЯТЦ.

В технологии переработки химического концентрата природного урана (ХКПУ), применяемой в АО «УМЗ», основной вклад в формируемые объемы ЖРО вносят рафинаты и маточные растворы аффинажного и осадительного переделов.

Количество рафинатов определяется объемами исходных аффинажных и промывных азотнокислых растворов на операции экстракционного извлечения урана.

Маточные растворы образуются в ходе фильтрации пульп полиуранатов аммония (ПУА), полученных из реэкстракта в процессе осаждения ПУА.

С целью сокращения объемов образующихся ЖРО и снижения производственных затрат технология переработки ХКПУ до закиси-окиси урана в АО «УМЗ» постоянно совершенствуется.

Так, для сокращения количества рафинатов был использован прием увеличения концентрации урана в исходных растворах со снижением уровня их кислотности. В связи с тем, что увеличение концентрации урана и снижение концентрации азотной кислоты в исходных растворах лимитируется необходимостью обеспечения максимально полного перевода урана в экстракт, а азотная кислота является активным высаливателем и способствует увеличению коэффициентов распределения урана, проблема нехватки высаливающего агента в условиях более низких концентраций азотной кислоты была решена путем компенсационного воздействия более сильного высаливателя – нитрата аммония. В качестве источника нитрата аммония использовали маточные растворы осаждения ПУА, в состав которых входит до 80 г/л NH_4NO_3, выступающего в роли активатора кинетики перехода урана из водной фазы в органическую.

Таким образом, возврат маточных растворов осаждения ПУА позволил сократить объемы ЖРО технологии переработки ХКПУ и снизить концентрацию азотной кислоты в исходных аффинажных растворах с 70 до 40 г/л с существенным сокращением расхода реагента в виде азотной кислоты.

Для сокращения количества ЖРО, представленных маточными растворами осаждения ПУА, была увеличена массовая концентрации урана в реэкстракте. Реализация рассматриваемого направления стала возможной после проведенной оптимизации существующего аппаратурного оформления технологического процесса экстракции, включающей увеличение количества аппаратов основного процесса за счет снижения числа единиц оборудования, задействованного на отмывке насыщенного экстракта раствором кислоты.

Увеличение числа экстракторов процесса экстракции позволило повысить массовую концентрацию урана в насыщенном экстракте, направляемом на реэкстракцию и дало возможность увеличить концентрацию урана в реэкстракте.

В результате внедрения рассмотренных высокотехнологичных разработок и оригинальных идей, возможности существующей в АО «УМЗ» технологии переработки ХКПУ были расширены, производительность технологического передела возросла на 12%.

Следует особо подчеркнуть, что обеспеченные показатели сопровождались не увеличением, а снижением количества вводимых в производственный цикл реагентов и образованием меньших объемов ЖРО. Расход азотной кислоты снизился на 10%, количество аммиачной воды сократилось на 13%. Объем ЖРО уменьшился на 8%.

Достигнутый результат явился следствием принятого в АО «УМЗ» подхода к решению производственных задач любой сложности, который характеризуется всесторонним рассмотрением обозначенных проблем, в том числе, в неразрывной связи с необходимостью снижения техногенной нагрузки на экологию Восточно-Казахстанской области.

АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ

Котов В.М., Витюк Г.А., Сураев А.С., Ерыгина Л.А.
Институт Атомной Энергии РГП НЯЦ РК, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Важным достоинством атомной энергетики является малое потребление топлива. Современным реакторам требуется всего 1 кг урана вместо 100 тонн высококачественного угля. Однако, в этих реакторах используется менее 1% урана от теоретически возможного. Только треть тепла этих реакторов преобразуется в полезную механическую энергию. Особенностью предлагаемого проекта теплового реактора является возможность практически полного использования природного урана и повышение КПД до 45-46%. Такие высокие характеристики достигаются за счет ряда технических решений защищенными патентами Республики Казахстан, как в части нейтроники, так и теплотехники.

ВВЕДЕНИЕ

Использование тория в тепловом реакторе во многом улучшает его характеристики за счет большего числа нейтронов при делении ^{233}U, меньшей доли сечения поглощения, меньшего образования трансурановых нуклидов в ходе кампании. Положительным является меньшая в десятки раз потребность в тории, чем в уране.

Однако, это сопряжено с большими затратами времени и средств, необходимых для выработки ^{233}U, достаточного для ведения рабочего процесса. Кроме того, применение торий-уранового цикла ведет к образованию ^{232}U, дочерний продукт которого ^{208}Tl является источником гамма-излучения высокой энергии, осложняющим переработку отработавшего топлива. Количество реакторов с попыткой ввода в работу тория и отсутствие реального ввода их в практику говорит, как об интересе к проблеме, так и о ее сложности. За счет разделения процессов выработки тепловой энергии и выработки делящегося вещества [1] создана возможность решения приведенных проблем. В реакторе создаются зоны топлива (получения энергии) и зоны сырьевого тория. В зоне топлива создается спектр быстрых нейтронов, увеличивающий число нейтронов деления. В зоне тория создается спектр медленных нейтронов, обеспечивающий эффективность получения ^{233}U и исключающий получение ^{232}U. Схема преобразования тепловой энергии в механическую основана на использовании газового теплоносителя и цикла Ренкина, что обеспечивает КПД до ~46 % при небольшом давлении в реакторе, а также применение стандартных твэлов типа ВВЭР-1000.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования основаны на расчетах нейтронно-физических характеристик различных вариантов реактора методом Монте-Карло [2], теплофизических характеристик элементов активной зоны и пароводяного тракта [3], экспериментах с моделями этого тракта [4], выборе процессов извлечения урана и протактиния и определении их характеристик, а также сравнении полученных результатов с характеристиками лучших аналогов атомной энергетики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ. КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ РЕАКТОРА С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗОН

На рисунке 1 представлена схема реактора тепловой мощностью ~100 МВт. Такой реактор является оптимальным в качестве лидера технологии по минимальным затратам на его создание и получаемым в полном объеме характеристикам воспроизводства и работы. Для увеличения эффективности разделения зон ТВС и тяжелой воды на границе этих зон размещаются слои бериллия и висмута, что позволяет получить дополнительные нейтроны за счет реакции n2n на бериллии и создать барьер для выхода нейтронов высокой энергии из ТВС в тяжелую воду. Размещение ториевых стержней в середине слоев тяжелой воды в замедлителе и отражателе позволяет повысить поток тепловых нейтронов и снизить поток нейтронов с энергией больше пороговой в тории, что снижает массу тория в реакторе и выработку паразитного ^{232}U. В ходе работы в топливе поддерживается равновесное содержание изотопов плутония, что снижает потребность в наработке ^{233}U и обеспечивает высокое выгорание ^{235}U, ^{233}U, ^{239}Pu и ^{241}Pu в топливе. Становится возможным использовать отвалы урана из обогатительных производств для подпитки топлива в замкнутой кампании. Особенностью переработки тория в уран является малое время облучения (до 90 дней), малое время выдержки облученного тория (до 200 дней). Это позволяет поддерживать торий как поглотитель в ходе облучения и вырабатывать минимум ^{232}U к моменту переработки тория.

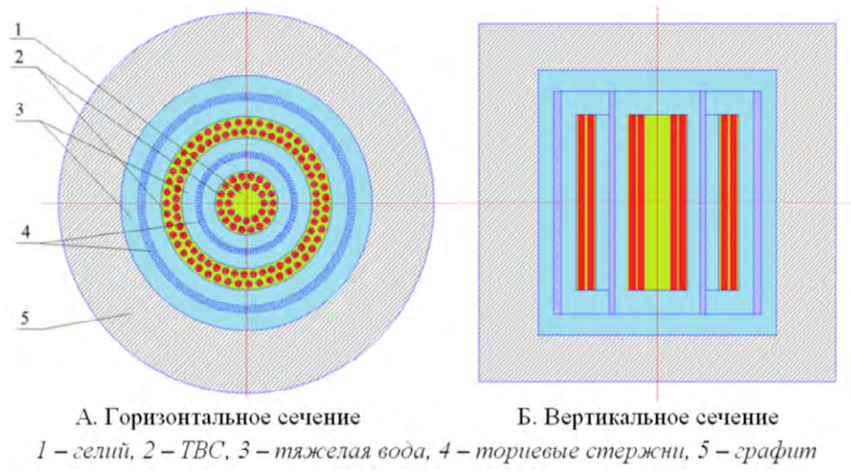


Рисунок 1. Схема размещения элементов активной зоны и отражателя

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Исследованы варианты реактора с топливом в виде металла и диоксида при одинаковой плотности по урану в ТВС. Сравнивались характеристики активной зоны при отсутствии и наличии слоев бериллия и висмута в реакторе. Расчеты показали практическое равенство характеристик при размещении во внешнем слое отражателя тяжелой воды, бериллия или графита. По экономическим показателям выбран графит. В таблице 1 приведена зависимость характеристик реактора от вида топлива и наличия Be и Bi. Здесь толщина бериллия 2 см, висмута 0,5 см, в составе делящихся веществ: ^{233}U – 1,5%, ^{235}U – 0,7%, ^{239}Pu – 0,406%, ^{241}Pu – 0,082%.

Таблица 1. Сравнение характеристик вариантов реактора

Bi и Be	Топливо	Кэфф	Потери n, у.е.	Утечка n, у.е.	$K_{восп}$ ^{232}Th-^{233}U	$K_{восп}$ ^{238}U-^{239}Pu	Наработка ^{232}U, г/тон	Делен/погл в ^{238}U, у.е.
Есть	метал	1,148	7,62	3,9138	0,9667	1,0177	157	14,78
	UO_2	1,129	7,95	3,8776	1,0367	0,941	145	12,69
Нет	метал	1,194	8,505	3,4997	0,819	0,9497	181	14,32
	UO_2	1,168	9,091	3,5346	0,873	0,9417	175	12,25

Введение бериллия и висмута положительно сказалось на коэффициенте воспроизводства в цепочке ^{232}Th – ^{233}U. Характеристики кампании с постоянным потоком нейтронов и постоянной загрузкой тория представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики кампаний реактора

Характеристика	Значение
Масса уранового топлива, кг	2640
Масса тория эффективная, кг	2471
Длительность кампании, час	16 000
Потребность в природном уране для 1-ой кампании, кг	1436
Потребность в уране из отвалов для 1-ой кампании, кг	1204
Содержание ^{235}U в отвалах, %	0,2
Потребность в ^{233}U, кг	42,58
Потребность в ^{239}Pu и ^{241}Pu, кг	15,75
Количество удаляемого отработавшего топлива из цикла в кампании, кг	1196
Потребность в тории для 2-ой и далее кампаний, кг	28,4
Выгорание в кампании, %	2,7 (71,3 кг)
Доля делений на уран-плутониевом топливе, %	56,72
Время выхода на стационарный режим работы, лет	2,3

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИКЛА РЕНКИНА

Схема АЭС с газоохлаждаемым реактором и водным замедлителем представлена на рисунке 2. Её особенностями являются трехконтурная схема подогрева пара и соответствующая турбина, а также использование энергии замедления нейтронов и протечек тепла из ТВС для подогрева воды после конденсатора. Это позволяет получить максимальную температуру пара до 500^{0}С, высокий КПД, низкую влажность пара на всех участках турбины при использовании стержневых твэлов типа ВВЭР-1000.

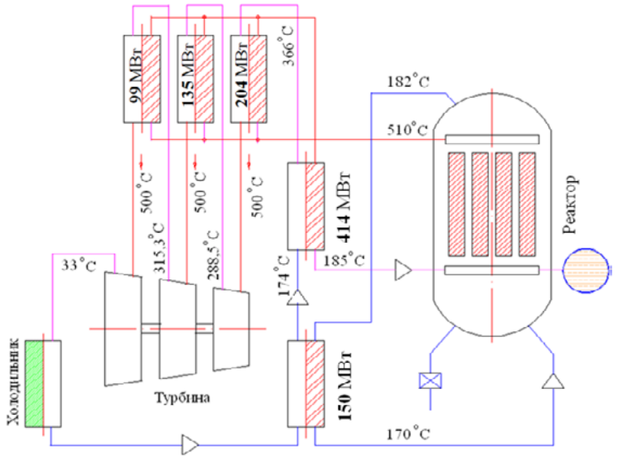


Рисунок 2. Принципиальная схема установки

Функциональное разделение теплообменников позволяет оптимизировать их характеристики и достичь меньшей массы в сравнении с одноконтурным вариантом получения пара. Характеристики теплообменников представлены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики теплообменных аппаратов

Параметр	Значение				
	Подогреватель	Парогенератор	Пароперегреватели		
			1	2	3
Мощность, МВт	150	414	204	135	99
Т теплоносителя вход, °С	182	440	615		
Т теплоносителя выход, °С	170	265	440		
Т пара (волы) вход, °С	33	174	366,84	288,5	315,3
Т пара (воды) выход, °С	174	366,84	500		
Р теплоносителя, МПа	1,0	6,0	6,0		
Р пара (воды), МПа	1,0	20,0	20,0	5,0	1,5
V пара (воды), м/с	2,83	50	49,2	49,8	49,9

Выводы. Проведенные работы показали возможность создания теплового реактора с высоким воспроизводством делящихся веществ, обеспечивающего потребление природного урана в замкнутой кампании на уровне быстрых реакторов. В предлагаемой технологии теплового реактора используется тяжелая вода в качестве замедлителя, разделяются процессы выработки энергии и наработки делящегося вещества, в качестве компенсатора реактивности используется торий, обеспечивается эффективное подавление выработки паразитного ^{232}U. В цикле Ренкина полностью используется энергия замедления нейтронов и протечек из ТВС в замедлитель, трехступенчатый перегрев пара от газового теплоносителя, обеспечивающий высокую сухость пара.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Kotov V.M., Idanova D.S.*** Low-power reactor with high breeding of fission materials. // IV Inter. Scientific and Technical Conference «Innovative Designs and Technologies of Nuclear Power».– Moscow: JSC «NIKIET».– 2016. – Vol.1. – p. 505-514.
2. MCNP/5: A General Monte Carlo N. Particle Transport Code, v.5, 2003.
3. Fluent Inc.: 2005, FLUENT 6.2 User's Guide, V. 1-3, Fluent Inc.
4. ***Сураев А.С., Котов В.М., Скаков М.К. и др.*** Исследование парообразования и перегрева пара в тонкостенных теплообменных трубах. – Вестник НЯЦ РК, вып. 1, 2016, с. 73-76.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛУЧЕННОЙ В РУ БН-350 АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Скаков М.К., Бакланов В.В., Коянбаев Е.Т.
Филиал Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Большинство ядерных реакторов в мире эксплуатируются уже более 30 лет. Продолжение безопасной эксплуатации зависит от надежности основных, незаменимых узлов таких как силовой корпус, технологические канали активной зоны и др. Надежность незаменимых узлов определяется поведением конструкционных материалов в условиях воздействия высоких температур и повреждающих доз. Продление срока безопасной эксплуатации действующих реакторов требует научно обоснованго заключения о ресурсной стойкости материалов. Определение реального ресурса безопасной эксплуатации основного оборудования ядерных реакторов и продления срока эксплуатации энергоблоков АЭС в настоящее время приобретает особую актуальность.

Роль конструкционных материалов состоит не только в обеспечении их целостности и прочности на весь период эксплуатации ТВС, но и в удержании внутри твэла продуктов деления топлива вовремя длительно «мокрого» или «сухого» хранения отработавших ТВС (ОТВС). По существу, радиационная и коррозионная стойкость конструкционных материалов являются основными в решении ключевых вопросов безопасности реакторной установки.

Начиная с 1999 года, в рамках декомиссии реактора БН-350 в Казахстане проводились материаловедческие работы, направленные на характеризацию состояния материала чехлов после длительного облучения и хранения в воде. Исследовали конструкционные материалы, которые эксплуатировались в быстром реакторе при сравнительно низких температурах (280…420ºС), облучены до максимальных повреждающих доз в интервале от 0,25 до 59 сна и затем находились в воде бассейна-выдержки от 4-х до 15 лет.

В работе «Состояние топлива реактора БН-350 после облучения и хранения в воде бассейнов выдержки» опубликованном в 2001 году в первом выпуске журнала Вестник НЯЦ РК представлены результаты комплексных исследований состояния следующих ОТВС: штатные ТВС Ц-105 первого типа, П-41 второго типа и модернизированная 71517003188; экспериментальные ТВС Ц-19, Ц-8, две экранные сборки, Н-81, с максимальным временем хранения в воде, Н-214, с максимальным временем нахождения в реакторе. В результате этих исследований был сделан вывод, что ТВС аустенитные первого и второго типа (штатные), ферритомартенситные (модернезированные) и экранные сохранили достаточный запас механической прочности и пластичности, чтобы их упаковка и транспортировка осуществлялись безопасно. Для целей дальнейшего хранения их можно просто тщательно высушить и заварить в нержавеющие чехлы с инертной атмосферой внутри. Экспериментальные аустенитные ТВС и ТВС с разрушенным топливом и/или хрупкими чехлами должны иметь двойную упаковку, чтобы гарантировать сохранение безопасной геометрии в случае аварии при проведении упаковки и транспортировки.

Более детальные исследования образцов аустенитных чехлов ОТВС показали, что микроструктура и физико-механические свойства нержавеющих сталей отличаются в различных участках чехла по его периметру и высоте. Например, имеются существенные различия фазового состава, микротвердости, плотности и распухания сталей в области ребер по сравнению с серединой грани чехла. Также имеются существенные различия в коррозионной повреждаемости наружной и внутренней поверхностей стенки чехла. Эксперименты по исследованию отработавших сборок выявили тот факт, что изменение структуры и свойств сталей неодинаково не только по высоте сборки и ширине граней, но и по толщине стенки чехла. В последнем случае различие особенно велико на внешней и внутренней поверхностях стенки в тепловыделяющих сборках, где использовали делящийся уран.

Необходимо отметить что в вышеуказанных работах исследуемым материалом являлись образцы граней чехлов ОТВС тогда как в концепции длительного сухого хранения основным (первым) барьером на пути выхода продуктов деления является либо стабилизирующий пенал либо оболочка твэла. Исследования материалов оболочки твэла в настоящее время является весьма затруднительным так как все топливо РУ БН-350 упаковано и размещены на длительное сухое хранение в УКХ-123 на КИР «Байкал-1».

В институте атомной энергии НЯЦ РК с 2004 года, в рамках тем НТП «Сухое хранение» и «Реакторные материалы», проводятся исследования направленные на изучение структуры и свойств материала облученного чехла ТВС РУ БН-350 во время экспериментов по моделированию условий длительного хранения. В качестве исследуемого материала были выбраны образцы вырезанные из различных участков граней чехлов ОТВС.

Известно что во время длительного сухого хранения материалы ОТВС подвержены воздействию температуры и механических нагрузок на стенку вызванное остаточным тепловыделением в продуктах деления. В связи с этим моделирование условий длительного сухого хранения проводятся в 2 этапа. На первом этапе определяются закономерности изменения структуры, физико-механических свойств, а также коррозионного разрушения материалов ОТВС в условиях длительного изотермического отжига. На втором этапе образец подвергается длительному механическому растяжению при повышенных температурах, тем самым моделирую синергетическое воздействие температуры и нагрузки.

На первом этапе испытаний, в рамках темы НТП «Сухое хранение» (2004-2008, 2016 гг), было проведено длительное термическое старение образцов облученного и необлученного чехла ТВС и необлученной оболочки твэла в условиях моделирующих штатный и аварийный режимы длительного сухого хранения (в диапазоне температур от 300 до 600^0С в среде аргона и воздуха). Проведены комплексные материаловедческие исследования материалов до и после термических испытаний, включающих металлографические, электронно-микроскопические исследования и физико-механические испытания. На основании полученных экспериментальных данных проведены прогнозные оценки ожидаемых коррозионных повреждений материалов барьера на пути выхода радионуклидов из топливных сборок реактора БН-350 в окружающую среду после их сухого хранения в течение 50 лет.

В результате материаловедческих исследований установлено, что в структуре образцов после термических испытаний имеется большое количество мелких дисперсных карбидов типа $Me_{23}C_6$. Механические испытания облученных образцов до отжига показало наличие эффекта их радиационного упрочнения. Однако длительный отжиг привел к уменьшению их прочности и увеличению пластичности.

Данные прогнозирования коррозионного повреждения первого барьера (оболочки твэла) на пути выхода радиоактивных продуктов деления в окружающую среду в течение 50 летнего сухого хранения топливных сборок реактора свидетельствуют об отсутствии

опасности коррозионное разрушение материала в штатном режиме хранения. Проведенные оценки показали, что за все время сухого хранения глубина разрушения барьерного материала не превысят 3 мкм. Однако в условиях аварийного сухого хранения топливных сборок глубина коррозионного слоя может достигнуть 25 мкм, что значительно повышает вероятность коррозионного растрескивания барьерных материалов.

На втором этапе, в рамках темы НТП «Реакторные материалы» проведены материаловедческие исследования материала чехла ОТВС ЦЦ-19 на участке +175 мм от ЦАЗ. В ходе исследования обнаружено значительное (4%) распухание облученной до 55,5 сна при ~380^{0}С стали. Результаты механических испытаний, облученных образцов свидетельствуют о наличие эффекта их радиационного упрочнения. Этот эффект также подтверждается результатами измерения микротвердости по методу Викерса. Для проведения длительных термических испытаний под напряжением конструкционных реакторных материалов спроектирована и изготовлена установка «КОРИНА». Создана информационно-управляющая система установки «КОРИНА», обеспечивающая постоянство заданной нагрузки на исследуемый образец в ходе длительного коррозионного испытания при повышенной температуре. Проведены методические эксперименты по исследованию изменения структуры и физико-механических свойств слабооблученных образцов-свидетелей реактора ИВГ1.М во время длительного термического старения в присутствий постоянной нагрузки. В ходе материаловедческих исследований установлено деградация структуры слабооблученных образцов и упрочнение материала во время изотермического отжига в присутствии постоянной нагрузки.

По завершении модельных испытаний появится возможность провести прогнозные оценки деградации структуры и свойств ОТВС ЦЦ-19 которая является экспериментальной сборкой и упакована в стабилизационные пеналы. Для проведения более корректного прогнозиорвания необходимо провести исследования более представительного числа сборок. Например, провести модельные испытания образцов из штатных и модернезированных ОТВС изготовленных как из аустенитной так и ферритомартенситной стали. Модельные испытания представительного числа сборок заключаются в выполнении следующего набора операций:

1. характеризация исходного состояния материалов (определение структуры, локального элементного и фазового состава, плотности, микротвердости, прочностных характеристик);
2. длительные термические испытания материалов (определение временной зависимости коррозионного повреждения образцов с различной дозой облучения в среде аргона и атмосферы воздуха в диапазоне температур 200-400ºС);
3. длительные испытания материалов в условиях синергетического воздействия температуры и механической нагрузки (определение временной зависимости коррозионного повреждения образцов с различной дозой облучения в присутствий механической нагрузки в среде аргона и атмосферы воздуха в диапазоне температур 200-400ºС);
4. характеризация состояния материалов после модельных испытаний (определение структуры, локального элементного и фазового состава, плотности, микротвердости, прочностных характеристик).

В результате этих работ будут получены экспериментальные данные по изменению эксплутационных характеристик материалов представительного колличества ОТВС которая позволит провести корректные прогнозные оценки состоятия материалов после 50 летнего сухого хранения и составить регламент обращения с УКХ-123.

СИСТЕМА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ МОДУЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА В АСУТП АЭС

Акылбеков Р.Б.
ТОО «СП «ЮГХК», Шымкент, Казахстан

В данной работе проведены исследования помогающие в решении вопроса обеспечения надежности системы за счет резервирования. Многие системы в наше время должны работать безотказно, ведь каждая минута простоя этих систем в нерабочем состоянии будет стоить не только большого количества денежных средств, но и возможно жизней людей работающих на этом объекте. Поэтому в системах должны быть резервные элементы, которые будут включаться при отключении главных элементов для проверки и возможной починки. Исследования, которые были проведены в данной работе, посвящены вопросу обеспечения надёжности путем резервирования модуля центрального процессора АСУТП АЭС. Задачи будут выполнены с применением оборудования компании (УМИКОН). Вопрос обеспечения надёжности будет рассмотрен на стадиях проектирования и тестирования. На стадии тестирования, все варианты резервирования тестируются на стенде полигона АСУТП.

Целью концепции безопасности является поддержание объекта управления в нормальном эксплуатационном состоянии, принятие соответствующих ответных мер сразу же после возникновение отказа и обеспечение длительного управления объекта в аварийных условиях используются следующие принципы.

ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАЛСЯ ПРИНЦИП РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Принцип повышения надежности систем путем применения структурной, функциональной, информационной и временной избыточности по отношению к минимально необходимому и достаточному для выполнения системой заданных функций объему.

По состоянию резервных элементов до момента включения их в работу различают:

- нагруженный (горячий) резерв – резервные элементы нагружены так же, как и основные;
- облегчённый (ждущий) резерв – резервные элементы нагружены меньше, чем основные;
- ненагруженный (холодный) резерв – резервные элементы практически не несут нагрузки.

Так же существуют : принцип независимости, принцип разнообразия, принцип единичного отказа.

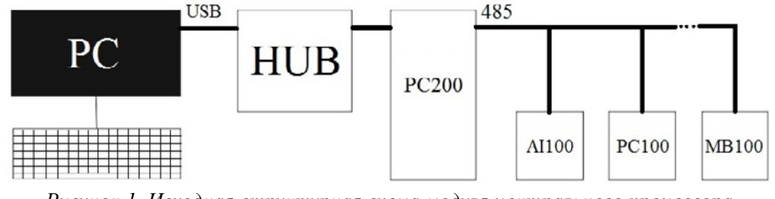


Рисунок 1. Исходная структурная схема модуля центрального процессора

Рисунок 2. Оборудование использованное в работе: PC200-модуль центрального процессора, UR100-блок управления резервом, BR100-блок переключения резерва, PC100-модуль УСО, MB100-модуль УСО

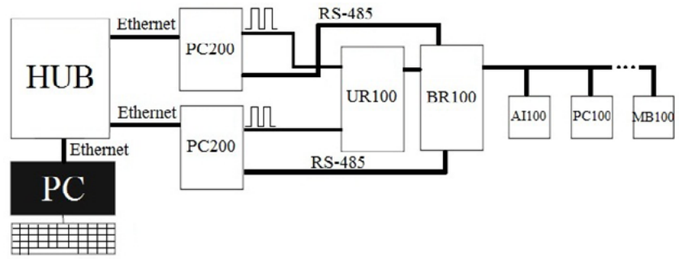


Рисунок 3. Схема резервирования модуля центрального процессора

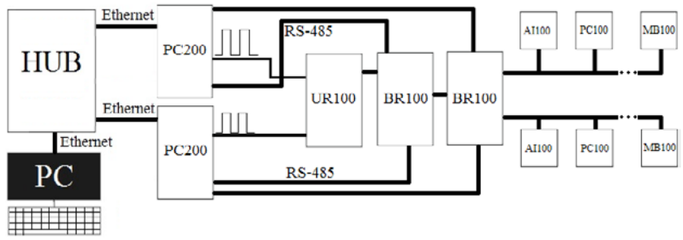


Рисунок 4. Схемы резервирования модуля центрального процессора и модулей УСО

Рисунок 5. Алгоритм анализа исправностей модулей УСО находящихся на одной ветви интерфейса RS-485

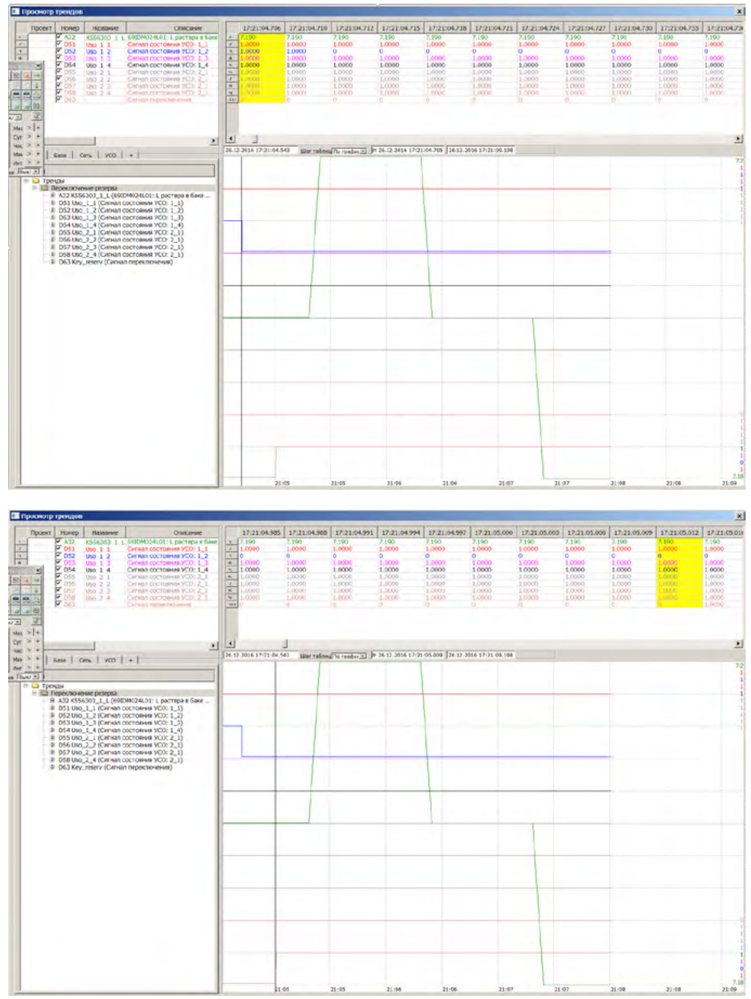


Рисунок 6. Эксперимент по переключению резерва

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были разработаны схемы резервирования модуля центрального процессора, а также реализована его программная часть, суть проведения резервирования состоит в переключении на резервное оборудование при неработоспособности или неисправной работе основного комплекта оборудования. Были предложены 2 схемы резервирования. При резервировании модуля центрального процессора было достаточно применение модуля управления резерва и модуля переключения резерва, в данном случае достаточно было воспользоваться аппаратными средствами ПТК «УМИКОН». Для резервирования модуля центрального процессора и модулей УСО пришлось воспользоваться не только аппаратными средствами, но и реализовать алгоритм управления переключения резервных ветвей УСО, реализованных на интерфейсе RS-485. При тестировании реализованного алгоритма было установлено, что переключение резерва осуществляется без потерь информационных сигналов для системы управления верхнего и среднего уровней.

УРФУ – РАЗРАБОТЧИК И ИЗГОТОВИТЕЛЬ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лисиенко Д.Г., Домбровская М.А., Абрамов А.В.
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

На базе ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» реализована Российская арбитражная лаборатория испытания материалов ядерной энергетики (РАЛ), в которой ведутся работы по разработке, изготовлению и аттестационным исследованиям материалов стандартных образцов состава утвержденного типа для метрологического обеспечения методов анализа урановых материалов.

Для градуировки атомно-эмиссионных методик, основанных на эффекте фракционной дистилляции, выпущено 3 комплекта ГСО 1866/1870-80, 7678-99 и 8735-2006. Показано, что эти же образцы с успехом могут быть применены для градуировки методик масс-спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Специально для последнего метода созданы ГСО 7679-99 и 8569-2004, где в число аттестуемых включен ряд редкоземельных элементов в ультранизких концентрациях. Реализованная технология синтеза материалов позволила провести аттестацию образцов расчетом по процедуре приготовления и достигнуть требуемых значений метрологических характеристик СО.

В настоящее время в лаборатории завершены работы по приготовлению и аттестации в ранге ГСО закиси-окиси урана особой чистоты, которую можно использовать в качестве «холостой пробы» в прямых методах анализа урановых материалов (масс-спектрометрия, атомные эмиссия и абсорбция и др.). В этом образце массовая доля Si не превышает 3 млн$^{-1}$, Ca, Fe, Mg, Ni, P, Na – 1 млн$^{-1}$, Al, Cr, Cu, K, Mo, Pb, Ti, Zn, – 0,3 млн$^{-1}$, Ag, B, Ba, Be, Bi, Co, In, Li, Mn, Nb, Ru, Sn, Sr, Ta, V, W, Zr, – 0,03 млн$^{-1}$, Dy, Er, Eu, Sm, Cd, Gd, Th – 0,002 млн$^{-1}$. Для аттестации материала использованы методы масс-спектрального, атомно-эмиссионного спектрального, фотометрического, гравиметрического анализов. Контроль достоверности результатов осуществлен по двум дополнительно созданным на основе существующих ГСО закиси-окиси урана образцам.

РАЛ является соразработчиком УЭХК в создании ГСО удельной активности нептуния-237 (комплект СОУ Np ГСО 8181-2002) и плутония-239 (комплект СОУ Pu ГСО 8182-2002) в закиси-окиси урана, а также ГСО состава уранилфторида, аттестованного по содержанию технеция (комплект СОУ Tc ГСО 8180-2002).

В прямых ICP-MS методиках и методиках, основанных на предварительном отделении урана, анализу подвергают растворы, а градуировку аппаратуры осуществляют по аттестованным смесям, приготовленным из ГСО состава растворов. С учетом особенностей метода ICP-MS сформулированы требования к исходным веществам и процедурам синтеза ГСО растворов, условиям фасовки и хранения. С соблюдением данных рекомендаций выпущены ГСО состава растворов ионов Ce, Gd, Dy, Eu, Hf, Nb, Nd, Pd, Pr, Re, Rh, Ru, Sm, Ta, U (U-235) и Zr с аттестованным содержанием элемента 1 или 10 ‰.

Приготовлены стандартные образцы поверхностной плотности урана-235 в виде закиси-окиси урана, заключенные в специальную кювету из сплава Д16 (комплект СОППУ из 16 образцов) с диапазоном значений величины от 2 до 50 мг/см^2 при различных аттестованных содержаниях изотопа уран-235 (2, 5, 10 и 90%). Установлены метрологические характеристики комплекта, погрешность аттестации определяется межэкземплярными различиями СО и составляет не более 5,2%. СО утверждены в категории ГСО 8715-2005.

Лаборатория ведет постоянную работу по продлению сроков годности экземпляров СО и свидетельств об утверждении типов.

ТМД ЕЛДЕР ЭКОНОМИКАСЫНЫҢ ЖОҒАРҒЫ ТЕХНОЛОГИЯ ДАМУЫНЫҢ ТАЛДАУЫ

Демешев А.К.
ИМО НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Қазіргі таңда жоғары технологиялардың даму деңгейі, экономиканың бәсекеге қабілеттілігі мен оның дамуының ұзақ мерзімді келешегін анықтайды. Бәсекеге қабілеттілігі мен жоғары технологиялардың даму деңгейі бойынша, жетекші рейтингтерде әлем экономикасының дамыған елдері көш бастап тұр. Мұны әлем нарығының жоғары технологиялар талдауы растап отыр.

Инновация саласында көптеген көшбасшы елдер, ғылыми зерттеулерге ЖІӨ-нің шамамен 2-3,5% жұмсайды. Орта есеппен санағанда, бұл елдерде ғылымды қаржыландыруда жеке сектордың үлесі 65%-ды құрайды. Бұл экономикалық сұранымды ынталадыру мақсатында қабылданған шара.

Көптеген дамыған елдер, салықтық жеңілдіктер мен преференцияларды беру арқылы НИОКР-ға жеке инвестициялар үлесінің басым етуіне қол жеткізді.

Дамыған елдерде мемлекеттік сектор ғылымды қаржыландыруда болмашы рөл атқарады. Экономикасы ілгерілеу елдерде мемлекеттік қаржыландырудың үлесі елеусіз: Швейцарияда-0,7%, Сингапурда-7,6%, Швецияда-0,7%, Финляндияда-9,1%, Ұлыбританияда-9,2%, Нидерландыда-12,6%, Данияда-2,9%, Ирландияда-4,3%, АҚШта -10,6%.

ТМД елдерінде, соның ішінде ЕАЭО-қа қатысушы-елдер, инновациялық даму саласында алғашқы тәжірибелік қадамдарын іске асыруда. Соған қарамастан, негізгі проблема анық көрінуде - ол жоғары технологияларды қаржыландырудың жетіспеушілігі.

2014 жылдың деректері бойынша, зерттеулер мен әзірлемелерге ішкі шығындар (жалпы ішкі өнімге %) мынадай болған: Ресейде-1,19%, Беларуста-0,74%, Қазақстанда-0,22%, Израильде-4,86%, Швецияда-3,75%, Жапонияда-3,42%. Дегенмен, экономика инновацилық деп есептелу үшін, ТМД елдеріндегі қаржылық салымдар, дамыған инновациялық мемлекеттерге қарағанда жеткіліксіз. Осы проблемалар ТМД және ЕАЭО елдерінде ұқсас. Осы елдерде инновацияларды практикалық тұрғыда жүзеге асыруын тежейтін негізгі себептеріне мыналар жатады: инновацияларға қоғамның сенімсіздігі, инновациялық қызметке бизнестің тартылмауы, әлсіз қаржыландыру, ғылым мен өндіріс арасындағы алшақтық, иннвациялық қызметте жүйе мен кешендік тәсілдеменің жоқтығы, кәсіпорындардың инновациялық потенциалының төмендігі,мамандардың жоқтығы, инновацияның дамуына қарағанда шикізат экономикасына маңызды бағдар алуы, жүйелік инновациялық процесстер үшін нарықтың жоқтығы және т.б.

Инновациялық проблемалардың шешіміне кешенді түрде келу керек. Практикалық та, теоретикалық та тәсілдемелері маңызды. ТМД елдері мен ЕАЭО біртұтас кеңістігінде инновациялық мәдениет пен инновацилық мінез-құлықты қалыптастыру сияқты басты мәселеден бастау қажет. Өйткені, инновациялық мәдениет - бұл қоғам өмірінің әртүрлі салаларында жаңа енгізілімдерді жүзеге асырудың тарихи тұрақталған, орнықты нормалар, ережелер мен тәсілдердің жүйесі. Сондықтан, инновациялық прцесстердің тез,

жылдам дамуына үміт арттырудың қажеті көп емес. Қазақстанда да, ТМД-ң басқа елдерінде де бизнес тарапынан инновацияларға сұраныстың мүлдем жоқтығы ешкімге құпия емес. ТМД елдерінде инновациялық мінез-құлықтың әлі де стратегиялық, жаппай сұранысқа ие болмағанын айғақтайды. Әлеуметтік субъектілердің қоғам өмірінің әртүрлі салаларындағы қызметтің жаңа тәсілдерін жүйелі түрде игеруге инновациялық мінез-құлықты бағыттау үшін, мемлекет тарапынан іске асыратын нақты механизмі бар дұрыс инновациялық заңнама қажет.

ЕАЭО-ң біртұтас кеңістігінде инновациялық ынтымақтастық үшін алғышарттар айқын. Инновациялық ынтымақтастық өзге елдерді тарту мен тәжірибе алмасу үшін мамандар,қаржы және басқа ресурстарды тарту үшін, бірлескен ғылыми-өндірістік талдамаларды іске асыру үшін,инновациялар саласында модальдік заңнамаларды құру үшін қажет. ТМД-дағы инновациялық ынтымақтастықты зерделеу проблемасына жанжақты көзқарас, одақ елдерінің артықшылығын көруге көмектеседі. Артықшылықтарына: интеллектуалды, білімдік, ғылыми-техникалық, өндірістік потенциал, бай шикізат ресурстары,жалпы ғылыми мектептер және т.б. Инновациялық дамуда ТМД елдері Жапониядан, Қытайдан, Еуропа елдерінен артта қалуда. Сондықтан да, ТМД елдері осы мемлекеттердің инновациялық жетістіктерінің импортына тәуелді. Инновациялық жұмыстың қазіргі жағдайы көрсеткендей, ТМД-ң жеке мемлекеті инновациялық «жүкті» «тарта алмайды».

Инновациялар саласында Достастық және ЕАЭО елдерінің экспорттық-шикізатқа бағдар алған экономикалары дамудың инновациялық моделіне өтуін, тек бірлескен күш-жігермен ғана жүзеге асыра аламыз.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТІҢ ТІЗІМІ

1. ***Ибрагимова Г.Е.*** «Қазіргі кезеңдегі ТМД-дағы инновациялық ынтымақтастық: проблемалар, тәжірибе мен болашағы», Қарағанды мақаласы, «ҚарМУ хабаршысы» журналы, № 4-64,2011,- (65-73 бет).
2. ***Смирнова Е.*** «Әзірлеме мен зерттеулердің ішкі шығындарының құрылымы: Қазақстан қай салаға көңіл бөлу керек?», мақала, «Экономика және статистика» журналы, С.Демирел атындағы университет, №1,2013, (40-45 бет).
3. ***Павловец Ю.*** «ЕАЭО-ты даму траекториясына тек жоғары технологиялар ғана шығаруға қабілетті», мақала, қол жеткізу тәртіптемесі: http://www.ritmeurasia.org
4. ***Якушина Е.В.*** «Әлем нарығында жоғары технологиялардың қазіргі жағдайы», «Аудит және қаржылық анализ» журналы, мақала №1,2012, - (1-7 бет).
5. UNESCO Science Report-towards 2030, Paris, UNESCO Publishing, 2016.

ИКЕМДІ ИНФРАҚҰРЫЛЫМДЫҚ РЕАГЕНТЕРДІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНЕ КӨШУ АРҚЫЛЫ УРАНДЫ ТҰТЫНДЫРУ ӨНДІРІСТІК ӨЗІНДІК ҚҰНЫН КЕМІТУ ТУРАЛЫ

Бисенов Е.М., Балқыбеков С.С.
«Қазатомөнеркәсіп» ҰАҚ АҚ, Астана, Қазақстан

Уран кен орындары уранның оксидін (немесе табиға уранның химиялық концентратын сары кек) тұтындыру процессіне 2012 жылға дейін аммоний карбонаты және кү»діргіш сода сияқты реагенттердің қатты түрін қолданатын. Сонымен бірге, Қазақстан Республикасының химиялық инфрақұрылымның және уран өнеркәсібінің дамуымен уран кен орындарының қолданатын реагеттердің тізімінің ұлғайту және химиялық реагенттердің нарығының барлық потенциалын колдануға қолйлы жағдайлар жасап отыр. Бұл өзгерістер икемді уранды тұтындыратын технологияларды басқару икемді саясатқа көшуге ертіп келеді, қайда химиялық реагенттердің ұсыныстарға икемді болу және экономикалық өлшемдер өндірістегі уранның бағасының тоқырауына басым жауап болып орын алады.

«Қазатомөнеркәсіп» ҰАҚ АҚ ұзақ уақыт бойы қатты реагенттердің колданған саясатына байланысты (соның ішінде, қатты жүйесіндегі ТР маркалы күйдіргіш натр (қатты сынапты)), уран кәсіпорындары қатты реагенттерді жеткізу және сақтау технологиялық шешімімен жобалана бастады. 2012 жылға дейін уран кәсіпорындары уранды тұтындұру кезінде аммоний карбонататын колданатын еді. Бұл технологиялық шешім химиялық реагенттер нарығындағы су аммиак ерітіндісі (25%), сұйық сұйытылған аммиак (100%), маркасы ТР күйдіргіш натры, маркасы РХ күйдіргіш натры, углеаммонийный тұзы және басқа да түрлі нұсқалары бар сілтілік реагенттердің икемді қолданатын саясатына және өндірістік өзіндік құн оңтайландыратын мүмкіндіктерді шектейді.

«Каустик» АҚ технологиялых маркасы ТР, РХ (химиялық ерітіндісі) және ТД (қатты диафрагмалық) күйдіргіш натрды өндіреді. 2017 жылы маркасы ТР күйдіргіш натрдың нарықтық бағасы 250 000 - 270 000 тенге/тонна құрайтын болса, маркасы РХ күйдіргіш натрдың нарықтық бағасы 150 000 - 170 000 тенге/тоннаны құрайды. Бұл бағалардың айырмасы маркасы ТР күйдіргіш натрдың маркасы РХ күйдіргіш натрдан алу кезінде колданатын қосымша технологиялық процесстерімен байланысты: кептіру, тазарту, кристалдандыру және бұландыру процесстері.

«КазАзот» АҚ 2017 жылы аммактың сұйық сұйытылған өнімін 100 000 – 110 000 тенге/тонна сатады. Аммоний карбонаттын нарықтық бағасы 120 000 – 140 000 тенге/тонна.

Сілтілі реагентердің нарықтық бағасының қалыптастыру негіздері мен жағдайлары әртүрл болғандықтан уранды тұтындыру технологиясының басқаруына тек қана экономикалық және нарықтық есеппен икемді жақындауға болады. Бұл басқару жүйесі химиялық реагеттердің нарығын мониторинг және маркетинг талдауын, жұмыс қызметкерлерінің оқытуын біліктілігін арттыруын, қауіпсіздік техникасы жағынан аттестациялық жұмыстарын, бұл бағытта менеджмент деңгейін көтеру жұмыстарынынң қәжет, бірақ бұл бағыттың өндірістік өз құнын түсіру қуатын ескерсек, жұмсалып жатқан қаржылардың ақталатына күмән жоқ.

Уран кәсіпорындарының реагенттерді икемді басқару жүйесіне көшу үшін келесі инфрақұрылым және технологиялық шешімдерді іске асыру керек:

1. кәсіпорындарының территориясында ГОСТ бойынша РХ маркалы күйдіргіш натрды және 25% аммиакты сақтау және 15-25 күндік нормативтік қормен қамтамасыз ету үшін резервуарлардың орнатуы:

№	Предприятие	NaOH ТР, тн	NaOH РХ, м^3	Аммиак 25%, м^3
1	ТОО «Каратау»	150 – 165	300 - 330	
2	ТОО «Орталык»	56 – 65	120 - 130	50 - 55
3	ТОО «Аппак»	30 - 45	65 – 75	
4	ТОО «KSU»	18 - 25	35 - 45	15 - 20
5	ТОО «ЮГХК»	80 - 100	200 - 220	
6	ТОО «РУ-6»	25 - 45		25 - 35

2. кәсіпорындарды арнайы көлікпен керек мөлшерде қамтамасыз ету;
3. жобалау, өндірістік қәуіпсіздік және экология сұрақтарын шешу;
4. сілтілі реагенттердің технологиялық нормативтік қолдану мөлшері: күйдіргіш натр – 0,8 кг/кг, аммиак 100% - 0,6 кг/кг.;
5. технологиялық жабдықтардың КИО басқару құралы арқылы қайтадан немесе сақтық қорларын қолдануы.

Маркалы ТР-ден маркасы РХ күйдіргіш натрға көші саясаты 100 000 – 150 000 тенге/тонна экономикалық әсер экеледі, сонымен бірге бұл 2 000 тонналық кәсіпоранға 200 000 – 250 000 мың тенге құрайды. Ал, маркалы ТР-ден 25% аммиак сулы ерітіндіге көші саясаты сол кәсіпорынға 340 000 – 400 000 мың тенге экономикалық әсер әкеледі.

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЛИТИЯ. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Нигматов Д.Ф., Жандаев Н.М., Бишимбаева Г.К., Мусаев Р.А.
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Охарактеризована часть минерально-сырьевой базы лития Казахстана. Отмечено, что крупные разведанные месторождения главного промышленного литиевого минерала: сподумена - отличаются низкими технико-экономическими показателями эффективности освоения и нуждаются в переоценке. Отмечено также, что большие неучтенные ресурсы лития связаны с пластовыми рассолами в районах разведочных и добычных работ на углеводородное сырье в Прикаспий. Исходя из зарубежного опыта, использование лития в Республики Казахстан будет активно расширяться. Сделан вывод о том, что, несмотря на неосвоенность казахстанских месторождений лития по сравнению с зарубежными странами, в будущем Казахстан сможет обеспечить себя собственным литиевым сырьем, используя эффективные технологии его производства и переработки.

Ключевые слова: литий, мировой рынок, запасы и ресурсы Республики Казахстан, сподуменовые пегматиты, гидроминеральное сырье.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день литий является наиболее востребованным редкоземельным металлом, который применяется в различных отраслях современной промышленности.

В металлургической промышленности часто встречается такое понятие как «малые металлы». Эти металлы применяются в большинстве современных высокотехнологичных областей науки и техники: спутниковой телекоммуникации, беспроводной связи, авиационно-космическое двигателестроение, волоконно-оптическая связь. Например, мобильный телефон включает в себя 40 различных материалов, компьютер около 60, среди которых индий, галлий, мышьяк, литий, тантал, кобальт и другие.

В разные годы XXI-в мировыми странами были разработаны стратегические программы и дорожные карты по определению наиболее важных элементов и материалов, в который непосредственно вошел литий как стратегический актив.

Бурный интерес к использованию уникального металла за последние годы был вызван популяризацией производства электромобилей и частично растущим спросом батарей для различных гаджетов (смартфонов, планшетов и т.д.), так по данным EV-Volumes [1] мировые продажи электромобилей выросли на 49% по сравнению с первым полугодием 2015 года.

На основании вышеуказанного, возникает интерес в рассмотрении текущего состояния и перспективы развития минерально-сырьевой базы лития Казахстана, в сравнении с зарубежными показателями по запасам и ресурсам, потреблению в различных промышленных отраслях и производства, а также перспективы освоения казахстанских месторождений лития.

Мировая минерально-сырьевая база лития. На сегодняшний день, основные Мировые запасы «стратегического металла» сосредоточены в гидроминеральном сырье (в соляных растворах минеральных озер, расположенных в засушливых районах с аридным климатом), а так же в минералах (сподумен, лепидолит, петалит, эвкриптит, амблигонит, гекторит и ядарит). По оценкам экспертов, в мире насчитывается порядка 47 [2] миллионов тонн запасов лития (на 2016 год), из которых порядка 76% [3] процентов запасов приходиться на гидроминеральное сырье соляных озер. Согласно оценке Геологической службы США, страны с крупнейшими подтвержденными запасами лития на 01.01.2016 г. [4] составляют более 14 млн. тонн (в пересчете на металл, извлечение которых возможно при существующих технологиях) (см. рис.1). В статистику не была включена Боливия с солончаком «Salar de Uyuni», запасы которого оцениваются в 100 миллионов тонн (порядка 70% от мировых запасов лития) [5]. Основной причиной, по которой на данный момент не разрабатывается данное месторождение, это слишком большое количество Mg в рассоле Mg/Li 20:1[6], т.е. данный факт существенно увеличивает стоимость добычи/переработки при существующих технологиях. Второстепенными причинами являются экологические аспекты, отсутствие выхода к океану и «колючая» инвестиционная среда.

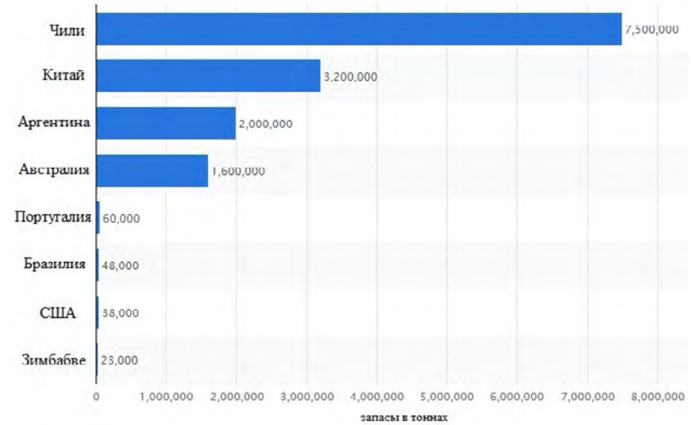


Рисунок 1. Статистика крупнейших подтвержденных запасов лития в мире на 2016 г.[7]

Благодаря динамично растущему спросу на литий, был дан толчок по увеличению геологоразведочных работ с целью поиска новых и перспективных месторождений.

Общие запасы «белого золота» латиноамериканских стран по оценки USGS.gov составляют 25,5 миллионов тонн, в данный литиевый треугольник входят такие страны как Чили, Аргентина и Боливия. В США были определены литиевые ресурсы из континентальных, геотермальных и нефтепромысловых рассолов, гекторита и пегматита, запасы были пересмотрены до 6,9 миллионов тонн. В Австралии более 2 миллионов тонн. Китай располагает запасами порядка 7 миллионов тонн. Литьевые ресурсы Канады составляют около 2 миллионов тонн. Россия, Сербия и Конго имеют по 1 миллиону тонн ресурсов. Ресурсы лития в Бразилии и Мексике составляют примерно по 200 000 тонн, в Австрии и Зимбабве более 100 000 тонн каждая [4].

Добыча, производство и применение литьевого сырья. На сегодняшний день, добыча лития из гидроминерального сырья превалирует перед добычей и переработки горнорудного сырья, за счет меньших производственных издержек, хотя здесь есть и другая

сторона, основное местоположение литийсодержащих минералов находятся в благоприятных климатических условиях с более-менее развитой инфраструктурой, что не маловажно влияет на стоимость конечного продукта.

Таблица 1. Тип запасов лития в различных странах [8]

	Тип запасов	Описание	Содержание	Страна
Минералы	Пегматиты	Светлая крупнозернистая магматическая порода	1,5-4% Li_2O	AUS – Greenbushes; USA – North Carolina; ZWE – Bikita.
	Гекторит	Относительно редкий литиевый глинистый минерал, слоистый силикат из группы монтмориллонита («смектитов»)	0,4% Li_2O	USA – KingsValley, Nevada; MEX – Sonora.
	Ядарит	Минерал, боросиликат лития и натрия с гидроксилом	1,5% Li_2O	SRB – Jadar
Рассолы	Континентальные	Литиеносные природные рассолы, образовавшиеся от выщелачивания вулканических пород	0,04-0,15% Li	USA – Clayton Valley; CHL – Salar de Atacama; ARG – Salar de Hombre Muerto.
	Геотермальные	Повышенное содержание уровня лития в парах на геотермальных электростанциях	0,01-0,035% Li	USA – Salton Sea area.
	Нефтяные	Повышенное содержание лития в водах или рассолах, добываемых на нефтяных месторождениях	0,01-0,05% Li	USA – Smackover oilfield.

В таблице 2 можно увидеть основные компании, которые ведут добычу лития.

Таблица 2. Список компании по добычи лития из различных источников [8]

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЛИТИЯ ИЗ РАПЫ СОЛЯНЫХ ОЗЕР		
Регион	**Месторождение**	**Компания**
Чили	Salar de Atacama	Sociedad Quimica y Minera de Chili S.A
	Sociedad Chilena de Litio	Rockwood Lithium (Sociedad Chilena de Litio) USA
Аргентина	Salar de Hombre Muerto	Food Machinery and Chemical Corporatio USA
США	Silver Peak	Albemarle Rockwood Lithium
Китай	Zabayu Salt Lake	Tibet Lithium New Technology Development Co.
	Taijinaier Salt Lake	CITIC Guoan Lithium Science & Technology Co.
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЛИТИЯ ИЗ ГОРНОРУДНОГО СЫРЬЯ		
Австралия	Greenbushes	Talison Lithium Ltd.
Канада	Bernic Lake	Tantalum Mining Corp.
Зимбабве	Bikita	Bikita Mining
Бразилия	Minas Gerais и Ceara However	Talison Lithium
Китай	Maerkang	Maerkang

Мировое производство лития выросло на 12% с 2015 по 2016 год, достигнув в прошлом году 35 тысяч тонн [9]. Говоря об объемах производства лития, порядка 80% приходиться на вышеуказанные страны, включая Австралию (см. рисунок 2).

Рисунок 2. Основной объем производства лития по всему миру [6]

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Рассолы: литий получают путем выпаривания литийсодержащего рассола в соленых озерах. На заводе, упаренный рассол доочищают от различных примесей и осаждают до получения готового продукта. Сам процесс выпаривания длиться приблизительно около года.

Сподумен: – литий получают из сподумена литийсодержащего алюмосиликатного минерала, путем его переработки в концентрат. Сподумен добывают с использованием традиционных методов (интенсивные термические и гидрометаллургические процессы).

ПРИМЕНЕНИЕ

В мире, порядка 39% использования лития приходиться на перезаряжаемые литиевые аккумуляторы, применяемые в первую очередь в портативных электронных устройствах, бытовой техники, электромобилях, сетевых хранилищах и ВИЭ.

На втором месте по применению лития идет стекольная и керамическая промышленность, где литий используется в качестве рудных концентраторов. Более подробную картину применения лития можно увидеть в таблице 3.

Таблица 3. Применение лития по видам промышленности [4]

Перезаряжаемые литиевые аккумуляторы	Электрические транспортные средства	39%
	Накопители энергии	
	Потребительские устройства	
Другое применение	Стекло и керамика (30%)	61%
	Консистентная смазка (8%)	
	Электролиз алюминия и полимерная продукция (10%)	
	Очистители воздуха (3%)	
	Прочее (10%)	

Перспективы производства лития в Казахстане. В Казахстане, на данный момент не проводились в полном объеме геологоразведочные работы с целью подсчета запасов лития. По предварительным данным, основные запасы сосредоточены в Восточно-Казахстанской (ВКО) и Южно-Казахстанской областях (ЮКО), их можно разделить по двум типам: пегматитовые и гидроминеральные месторождения.

Пегматитовые месторождения. ВКО издавна известна своими пегматитовыми месторождениями редких металлов. Здесь разведаны пять крупных пегматитовых полей: Бакенное, Белогорское, Верхне-Баймурзинское, Асубулакское и Юбилейное.

В 2015 году ТОО «Институт высоких технологий» проводил научно-исследовательскую работу по теме: «Технико-экономические соображения (ТЭС) о целесообразности разведки и промышленного освоения месторождений лития в ВКО Казахстана». В ходе выполненной работы были определены основные пегматитовые месторождения ВКО: Бакенное, Верхне-Баймурзинское, Ахметкино и Участок Ново-Ахмировский. Месторождение Юбилейное отработано и законсервировано. Основное внимание по сбору, анализу и обобщению геологических материалов было уделено отмеченным выше месторождениям (Бакенное, Верхне-Баймурзинское, Ахметкино и Участок Ново-Ахмировский)[10].

По результатам проделанной работы, были выделены наиболее перспективные пегматитовые месторождения. Оценка проводилась с учетом подсчета запасов месторождений (балансовые и прогнозные), содержания оксида лития, результатах проведенных предварительных технологических исследований по обогащению сподумена и геоположение месторождений (наличие энергоснабжения, и близость к областному центру).

Таблица 4. Пегматитовые месторождения ВКО [10]

Месторождение	Целесообразность
Бакенное	Разработка месторождения лития нецелесообразна
Верхне-Баймурзинское	
Ахметкино	Имеют большие перспективы для освоения
Участок Ново-Ахмировский	

ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Подземное гидроминеральное сырье

Подземное гидроминеральное сырье сосредоточено в нескольких провинциях Казахстана см. таблицу 5-6[11].

Таблица 5. Состав подземного гидроминерального сырья в нескольких областях Казахстана

Провинция	Глубина залегания, (м)	Минерализация, (г/дм^3)	Дебит скважин, (м^3/сут)	Содержание Li (мг/дм^3)
Прикаспийская провинция				
Северо-Прикаспийская область	2500–5000	88–408	1–50	13–82
Приаралье Актюбинской области	1800–2600	16–23	до 25	0,1–2,75
Южно-Эмбинская область	640–2800	117–252	до 17	1–16
Восточно-Прикаспийская область	1200–4500	100–270	8–25	10–17
Мангышлак – Устюртская провинция				
Южно-Мангистау-Устюртская область	960–2800	120–200	8–17	5–11,3
Шу-Сарысуйская провинция				
Кокпансорская область	570–3500	30–150	3–35	5–165
Моинкумская область	870–2500	130–320	2–25	30–67

Так же можно выделить минерализованные воды Западного Казахстана см. табл. 6[12].

Таблица 6. Минерализованные воды Западного Казахстана с содержанием металла

Месторождение	Li г/л
Тепловская нефтяная структура	0,082
Гремячинская нефтяная структура	До 0,065
Карачаганакская нефтяная структура	До 0,196
Тасымская нефтяная структура	До 0,087

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ

Республика Казахстан богата водоемами, на обширной территории сосредоточены два моря Каспийское и Аральское, также имеются крупные озера: Балхаш, Алаколь, Тенгиз, Силетытениз, Теке и др. Небольшие и малые озера разбросаны по все территории Республики Казахстан, их насчитывается порядка нескольких тысяч.

Изучение распространения лития в поверхностных водах Казахстана вызывает большой интерес. Содержание лития в поверхностных озерах колеблется в пределах ($3{,}4 \times 10^{-5}$ – $2{,}7 \times 10^{-4}$%) [13].

Таблица 7. Содержание лития в поверхностных водах Республики Казахстан [13]

Тип водоема	Количество	$\sum_{сол}$, %	Li × 1^{04}, %
Соляные озера			
Карбонатный	7	2,85-19,18	0,41-2,1
Сульфатный	29	4,14-27,45	0,34-2,7
Хлоридный	3	7,58-27,76	1,2-2,3
Пресные и солоноватые озера			
Карбонатный	10	0,015-0,18	0,031-0,29
Карбонатный	13	0,037-0,76	0,083-0,33
Сульфатный	7	0,035-0,53	0,50-0,39
Реки			
Карбонатный	6	0,013-0,017	0,020-0,033
Сульфатный	8	0,30-0,22	0,074-0,25

Так же большой интерес вызывает рапа в засушливых районах Северного Приаралья, где литий сосредоточен на дне высохшего моря.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что у Казахстана есть потенциал для развития литиевого кластера от добычи до выпуска готового продукта. На данный момент отсутствует информация по общим запасам лития в Республике Казахстан.

Если учитывать запасы по минеральному сырью Восточно-Казахстанской области, сравнивая с подтвержденные запасы лития в недрах зарубежных стран, согласно данным [4] Геологической службы США, то Казахстан входит в десятку стран мировых лидеров по подтвержденным запасам лития. При увеличении геологоразведочных работ по поиску металла в других регионах страны, в том числе и в гидроминеральном сырье, Казахстан сможет увеличить свою минерально-сырьевую базу лития. Учитывая вышесказанное, Казахстан сможет занять лидирующие позиции по запасам стратегического металла в мире.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. [Электронный ресурс] URL: http://www.ev-volumes.com/
2. [Электронный ресурс] URL:http://www.australian-lithium.com/
3. ***Наумов А.В.*** Литий: сверхвозможности суперметалла Публикация от 26.10.2016 [Электронный ресурс] URL: http://rareearth.ru/ru/pub/20161026/02870.html
4. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2017 с. 100-101
5. Обзор рынка лития и его соединений в мире и России, Демонстрационная версия, 2 издание, Москва февраль, 2017 г. с. 15-18
6. ***Staiger J., Rödel Swiss T.***, Resource Capital AG., Lithium Report 2016., p. 13.
7. [Электронный ресурс] URL: https://www.statista.com/statistics/268790/countries-with-the-largest-lithium-reserves-worldwide/, US Geological Survey
8. ***Brown T., Walters A., Idoine N., Gunn G., A Shaw R., Rayner D.***, Lithium British Geological Survey (2016), p. 9.
9. ***Aspa J.***, Top Lithium-producing Countries February 12, 2017 [Электронный ресурс] URL:http://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/lithium-producing-countries/
10. Отчет о НИР « Технико-экономическое соображения о целесообразности разведки и промышленного освоения месторождений лития Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан». – Алматы: ТОО «Институт Высоких Технологий»». - 2014. с. 7-171.
11. ***Муртазин Е.Ж., Кан С.М., Вялов В.Д., Курмангалиева Ш.Г., Калугин О.А., Сульдина О.В.*** Некоторые аспекты распространения промышленных подземных вод Казахстана и перспективы их использования//Известия Национальной академии наук Республики Казахстан – 2014. Том 6, Номер 408 - УДК 553.776 с. 51.
12. ***Самойлов В.И., Винокурова Т.А.*** Природные минерализованные воды как важный промышленный источник лития и способы их галургической переработки УДК 555.635+661.834+661.845 с. 75.
13. ***Мун А.И., Бектуров А.Б.***, Распределение микроэлементов в водоемах Казахстана. Алма-Ата с.176-177.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, ПРАВОВЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АТОМНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

DEPLOYMENT OF HIGH NFC TECHNOLOGIES AND IMPACTS ON NATURAL URANIUM PRICES

Choi Jor-Shan*
ePower Consulting, CA, USA

Synopsis – To achieve low-carbon power consumption, the use of fossil fuel must be curtailed, and the shortfall be made up by the increased use of nuclear and renewable energies and compensated by high technology developments in synergies and electric storage. Nuclear power is an abundant, low-carbon, base-load power source. Its application can contribute towards countries' energy sustainability and the mitigation of global climate change. How much of these contributions can be made by nuclear power would largely depend on choices made in the next few decades by major energy-using countries in Asia, especially in China, India, and Japan.

China, with current construction and operation of nuclear power plants expected to reach ~60 GWe by 2020, will project to have more than 150 GWe by 2030 if nuclear construction would extend into inland regions. India, currently consists of 1.9% of total installed electric capacity from nuclear, is projecting to increase that to about 10% by 2030. Japan, despite a nuclear phase-out policy, may still have ~15% of nuclear electricity in 2030, contributed mostly by the restarted PWRs.

Would world uranium production expand in coming decades beyond the current level to accommodate the increase in need from Asia? The answer would depend on (1) what percentage of global base-load power would be nuclear? and (2) what deployment of high nuclear fuel cycle (NFC) technologies would most likely be in these three Asian countries? According to the NEA/IAEA the high-growth scenario for nuclear power through 2035, projecting a total installed capacity of 683 GWe, would require about 105,000 tons U/y – just under a doubling of current uranium production. To sustain an indefinite nuclear power future, China would deploy (1) stockpiling uranium to fulfill ten forward years of requirements, and (2) high NFC technologies to extend the use of its nuclear fuel. Such policy would likely increase the Chinese uranium requirement in 2030 to somewhat more than three times the current annual world uranium production. The impact on future prices of natural uranium could be significant.

* Also affiliated with UC Berkeley Nuclear Research Center. The opinion expressed here are those of the author and not necessary those of his affiliations.

ВЫЗОВЫ «ЦИФРОВОЙ» РЕВОЛЮЦИИ: ОТ «КЛАССИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ» К «РАЗВИТИЮ СПОСОБНОСТЕЙ»

Мусина Б.Б.
Филиал КЯУ ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Цифровая революция затрагивает деятельность компаний двумя способами. Во-первых, это необходимость овладения новыми инструментами управления, которые не существовали несколько лет назад, такие как социальные сети, мобильные технологии, big data. Во-вторых, меняются условия, в которых люди выполняют свою работу.

На смену традиционным методам обучения приходят простые в использовании альтернативные средства (онлайн, мобильные устройства), что дает возможность работникам постоянно совершенствовать свои навыки без отрыва от производства, и где бы они не находились на основе персонального карьерного плана;

Наряду с этим, в свете растущего влияния искусственного интеллекта на производственные процессы, человеческий капитал должен оставаться важнейшим активом организации. Задача корпоративных университетов заключается в том, чтобы обеспечить не только конкупентоспособность организации, но и трансформацию работника, чья карьера может быть прервана потерей работы.

В свете стоящих перед компаниями задач, определены следующие значимые тренды последующего развития корпоративных университетов:

— Just-in-Time learning;
— социальная ответственность;
— обеспечение трансформации компании;
— продвижение новаторских идей;
— гарантирование равного доступа к знаниям;
— обучение на основе компетентности – развитие сильных сторон работника.

ОПЫТ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» ПО ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВУ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ УРАНА

[1] Ибраев Б.М., [1] Дюсамбаев С.А., [1] Мукушева А.С., [2]Копбаева М.П., [2]Кайпбаев Д.К., [2]Имансаева А.М., [2]Искаков З.А., [2]Никитина И.И.
[1]АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан
[2]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Научно-технический потенциал АО «НАК «Казатомпром» определяется результатами исследований и разработок его предприятий и включает различные объекты авторского права и промышленной собственности. Наиболее значимыми для инновационного процесса являются изобретения и рационализаторские предложения. Охранные документы АО «НАК «Казатомпром» и его дочерних и зависимых организаций вносят свой вклад в национальную патентную статистику. АО «НАК «Казатомпром» и его предприятия патентуют свои разработки с 2001 г. На рис.1 представлены сведения о рейтинге АО «НАК «Казатомпром» по количеству полученных охранных документов среди ведущих научных организаций и национальных компаний Республики Казахстан с 2009 по 2016 г. Ранжирование патентообладателей по количеству патентов свидетельствует о лидирующем положении АО «НАК «Казатомпром» среди национальных компаний Республики Казахстан.

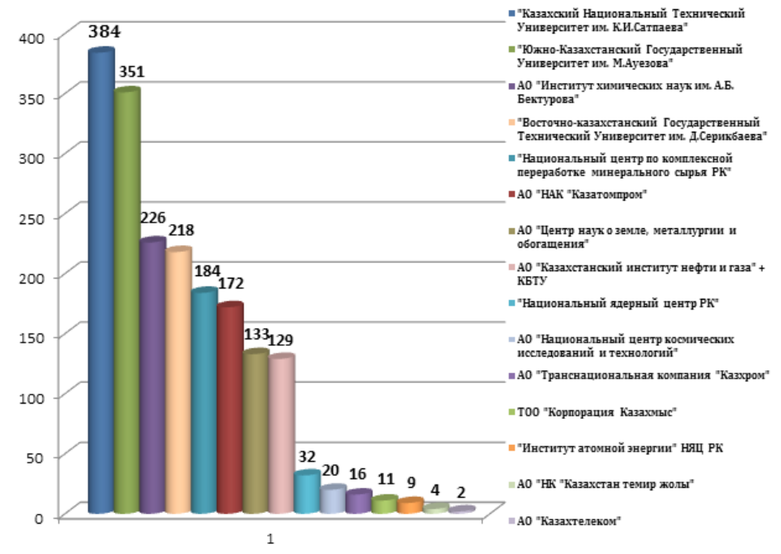


Рис. 1 Результаты патентного анализа, количества патентов РК с 2009 по 2016 года

Из рис.1 видно, что 100 и более патентов получили, в основном, высшие учебные заведения, научно-исследовательские институты, научные центры, а также АО «НАК «Казатомпром».

На рис. 2 представлены сведения о количестве выданных охранных документов по годам на имя АО «НАК «Казатомпром» и его дочерних и зависимых организаций (ДЗО), суммарное количество которых составляет 316 патентов.

На имя АО «НАК «Казатопром» с сопатентообладателями за период с 2001 по 2016 г. выдано 100 охранных документов на изобретения и полезные модели, зарегистрировано 3 товарного знака и 28 объектов авторского права.

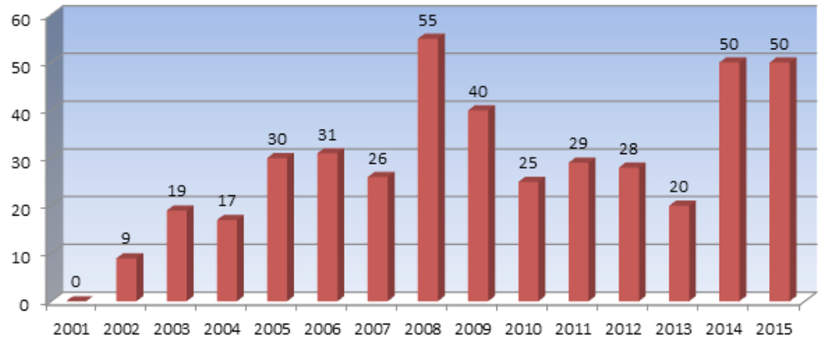


Рис.2 Динамика патентования изобретений АО «НАК «Казатомпром» и его ДЗО

Активность ДЗО в патентовании технических разработок представлена на рис. 3 в виде диаграммы, представляющей количество патентов, выданных АО «НАК «Казатомпром» и его ДЗО за 2014-2016 г.

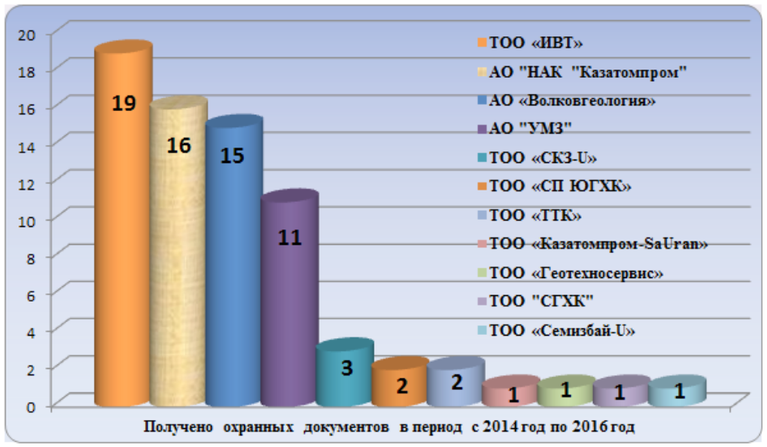


Рис.3 Количество патентов РК, полученных АО «НАК «Казатомпром» и его ДЗО за 2014-2016 г.

Из сведений рис. 3 видно, что наряду с АО «НАК «Казатомпром» наиболее высокую патентную активность также проявляют ТОО «Институт высоких технологий», АО «Ульбинский металлургический завод», и АО «Волковгеология».

Научные исследования АО «НАК «Казатомпром», защищенные патентами РК, направлены на создание эффективных модернизированных разработок, новых по отношению к отрасли в целом. В настоящее время внедрены в производство 17 разработок следующими ДЗО: ТОО «Семизбай-U», ТОО «РУ-6», ТОО СП «Южная горно-химическая компания», ТОО «Каратау», ТОО «АППАК», ТОО «Кызылкум», ТОО «Байкен-U», ТОО «СП «Инкай», АО «Волковгеология», ТОО «Таукентское горно-химическое предприятие», со значительным экономическим эффектом.

Экономически эффективно использование рационализаторских предложений. Мониторинг рационализаторской деятельности показал, что предприятиями АО «НАК «Казатомпром» за 2014-2016 г. подано всего 2 860 рационализаторских предложений. Из них отклонено 470, признано полезными и принято к внедрению 2 390 предложений, что составляет 84% от общего количества поданных предложений. Реализовано 1 360 предложений, что составляет 57% от количества принятых. Фактический экономический эффект полученный от использования рацпредложений составил 3 044 759,00 тыс. тенге.

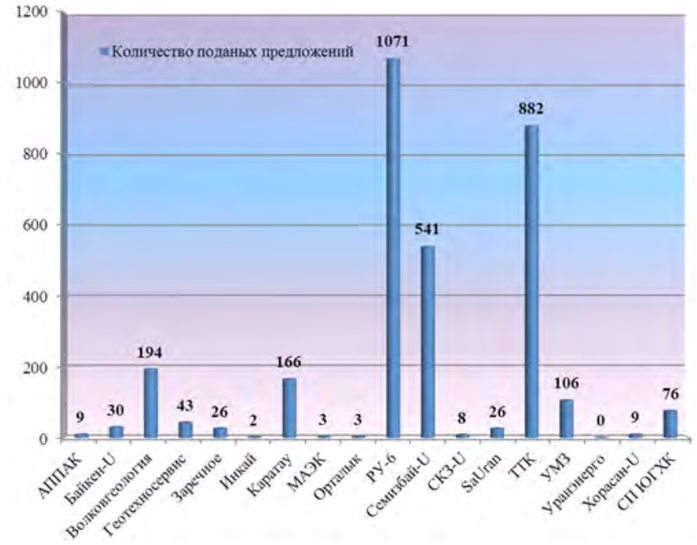


Рис.4 Показатели рационализаторской деятельности ДЗО АО «НАК «Казатомпром» за 2014-2016 г.

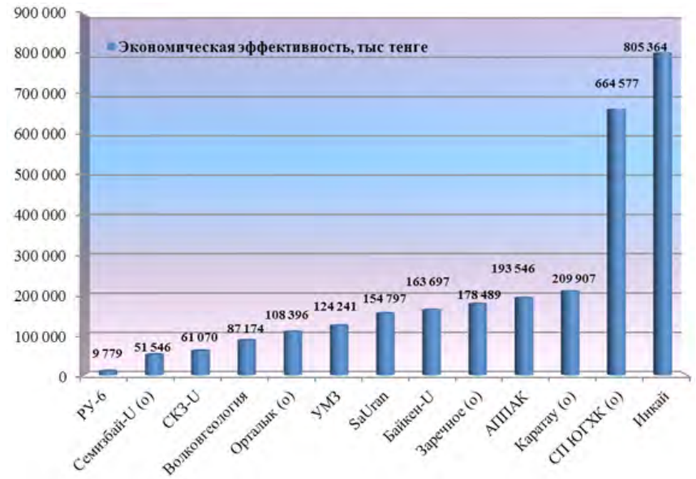


Рис.5 Показатели экономической эффективности рационализаторской деятельности ДЗО АО «НАК «Казатомпром» за 2014-2016 г.

Наибольшую активность в рационализаторской деятельности проявляют следующие ДЗО: АО «УМЗ», ТОО «СП Заречное», АО «Волковгеология», ТОО «Семизбай-U», ТОО

«Байкен-U», ТОО «РУ-6», ТОО «СП Инкай» и ТОО «АППАК». Имеется тенденция некоторого снижения общих показателей по количеству поданных и внедренных предложений. Наиболее стабильные показатели рационализаторской деятельности имеют АО «УМЗ», АО «Волковгеология», ТОО «РУ-6», ТОО «Торгово-транспортная компания», ТОО «Геотехносервис».

Основной задачей в области рационализаторской деятельности является трансферт эффективных технических решений между ДЗО. Решением может являться трансферт в форме «ноу-хау» или выявление среди них полезных моделей и изобретений с последующим патентованием. Последнее решение является предпочтительным, поскольку является фактором влияния на национальный уровень техники, а публикация сведений о выданных патентах включается в мировую патентную статистику.

Статистические данные о патентной активности стран и территорий мира публикует Всемирная организация интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization) — специализированное учреждение Организации Объединенных Наций по вопросам интеллектуальной собственности. Исследования проводятся ежегодно на основе данных международных, национальных и региональных ведомств по охране интеллектуальной собственности. Количественные данные используются для расчета показателей, определяющих связь патентной активности с экономическим развитием. Известно, что наиболее распространенный показатель - количество полученных патентов на 1 млн. населения страны. Среднемировой уровень составляет 148 патентов. В пятерку лидеров входят Япония (2 884 патента на 1 млн. японцев), Южная Корея (2 189), США (645), Германия (587) и Австралия (479). Среди стран СНГ показатели имеют следующие значения: Россия - 160, Беларусь - 108, Казахстан - 102, Украина - 68. Для сравнения: Великобритания - 320, Франция - 236, Израиль - 227, Италия - 111, Китай - 51. Согласно опубликованным 2012 году результатам статистических исследований Республика Казахстан занимает 42 место среди 103 исследуемых стран мира по количеству поданных заявок на изобретения.

Патентная статистика позволяет выявить тенденции патентования технических решений в различных областях техники. Анализ патентной статистики в области добычи и переработки урановых руд в Казахстане и мире позволяет определить место АО «НАК «Казатомпром» в этом процессе. АО «НАК «Казатомпром» и его ДЗО владеют (от всех выданных ОД в РК) : по классу МПК: C 22B 60/02 - 68% (получение урана или других актиноидов); C22B3/04 - 46% (извлечение соединений металлов из руд или концентратов выщелачиванием); C22B3/08 - 57% (извлечение соединений металлов из руд или концентратов выщелачиванием серной кислотой); E21B43/28 - 53% (добыча полезных ископаемых иных, чем углеводороды, растворением, например с помощью щелочного или кислотного выщелачивающего вещества). Наиболее интенсивно авторы АО «НАК «Казатомпром» патентуют свои изобретения по МПК C22B60/02, а минимально по E21B43/28, что согласуется с тенденцией мировой патентной статистике.

Патентование изобретений в Казахстане по вышеуказанным МПК количественно характеризуется на порядок-полтора меньшими значениями, но, в целом, коррелирует с мировой динамикой. Из числа выданных охранных документов на изобретения в Республике Казахстан в области гидрометаллургии урана, около 50% принадлежат АО «НАК «Казатомпром» и его ДЗО. Этот факт свидетельствует о значительном инновационном потенциале АО «НАК «Казатомпром».

Статистический патентный анализ выявил тенденцию в мировой практике патентования - росте числа выдаваемых охранных документов в мире, относящихся к области технологий по добыче и переработке урановых руд, предпочтительно методом подземного скважинного выщелачивания. Изучение содержания патентов позволило сделать общие выводы о тенденциях развития этого уровня техники в мире. Очевидным является отсутствие пионерских изобретений в анализируемой области. Выявленные охранные документы защищают частные технические решения, разработанные для конкретных условий добычи или переработки уранового сырья. В целом, сохраняется положительная динамика выдачи патентов в мире.

Расширяется арсенал химических соединений для переработки урановых руд (включая микроорганизмы), новых материалов для сорбции, а также для экстракционного аффинажа урансодержащих растворов.

Совершенствуются физические методы воздействия на способы химического выщелачивания, переработки выщелачивающих растворов.

Растет число патентов, посвященных аппаратурному оформлению технологий, а также решению экологических проблем, возникающих при добыче и переработке урановых руд.

Общие тенденции в патентовании изобретений в изучаемой области РК и АО «НАК «Казатомпром» совпадают с мировыми. Полученные данные свидетельствует о стабильном развитии изучаемой области техники.

ЗИЯТКЕРЛІК ӘЛЕУЕТТІ АРТТЫРУҒА ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТӘСІЛДІ ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ

Қаймолдина Ә.
«Қазатомөнеркәсіп» ҰАҚ АҚ, Астана, Қазақстан

«Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ алдында тұрған стратегиялық мақсаттар мен міндеттердің бірі зияткерлік әлеуетті арттыруды жаңғырту болып табылады. Зияткерлік әлеуетті арттыруды жаңғыртудың маңызды бағыттарының бірі жаңа буынның ғылыми кадрларын дайындау болып табылады. Осы бағыттағы қозғалыс зияткерлік әлеуетті әлемдік тенденцияларға және жұмыс беруші мен білім алушылардың оқу қажеттілігіне сәйкес зияткерлік әлеуетті арттыру жүйесін жаңарту арқылы ғана мүмкін. Бұл мақсатқа инновациялық қызметке бағытталған ғылыми-білім беру бағдарламаларын әзірлеу мен іске асыру арқылы қол жеткізуге болады. Осындай ғылыми-білім беру бағдарламаларын іске асырудың ықтимал жолдарының бірі бірлескен білім беру бағдарламаларының желілік нысаны болып табылады.

Білім беру бағдарламаларының желілік нысаны мынадай мүмкіндік береді:

- дайындықтың сапасын арттыру, бірегей ғылыми-кәсіби құзыреттілікті қалыптастыру және дамыту мақсатында, екі және одан да көп білім беру, соның ішінде шетелдік мекемелердің ресурстарын пайдалануға;
- сол арқылы зияткерлік және ғылыми-техникалық әлеуетті нығайта отырып, шетелдік білім беру және ғылыми ұйымдармен бірге білім беру бағдарламаларын енгізуге;
- желілік өзара іс-қимыл - бұл оқу, бір-бірін оқыту, бірлесіп зерделеу, тәжірибе алмасу, оқу-әдістемелік кешендерді, оқыту әдістемелері мен технологияларды, тәрбиелеуді, білім жүйесін басқарудың жаңа механизмдерін жобалау, әзірлеу, сынақтан өткізу немесе енгізу үшін бірнеше мекемелер мен ұйымдардың бірлескен қызметі және инновациялық, әдістемелік, кадрлық ресурстарды бірге пайдалану қызметінің тәсілі.

Желілік өзара әрекеттесуді азаматтардың барлық санаттары үшін сапалы білімге қолжетімділікті, білім вариативтілігін, білім беру ұйымдарының ашықтығын және заманауи технологияларды пайдалануды қамтамасыз ететін көлденең және тік байланыстар жүйесі деп түсінеді.

Білім беру бағдарламаларының желілік нысандарын іске асыру үшін төмендегілерді көрсету қажет:

1) желілік нысандарды қолдана отырып іске асырылатын білім беру бағдарламасының түрі, деңгейі және (немесе) бағыттылығы;
2 ұйымдарда білім алушылардың мәртебесі, желілік нысандарды пайдалана отырып жүзеге асырылатын білім беру бағдарламасы бойынша оқуға қабылдау қағидалары, білім алушылардың академиялық мобильділігін ұйымдастыру тәртібі;
3) желілік нысандар арқылы іске асырылатын білім беру бағдарламасы бойынша білім беру қызметін жүзеге асыру шарттары мен тәртібі, оның ішінде ұйымдар арасындағы міндеттерді бөлу, білім беру бағдарламасын іске асыру тәртібі, желілік нысандар арқылы білім беру бағдарламаларын іске асыратын әрбір ұйым пайдаланатын ресурстардың сипаты мен көлемі;
4) білім және (немесе) біліктілік туралы берілетін құжат немесе құжаттар, білім беру туралы құжат немесе құжаттар, сондай-ақ аталған құжаттарды беретін, білім беру қызметін жүзеге асыратын ұйымдар;

5) шарттың қолданылу мерзімі, оны өзгерту және тоқтату тәртібі.

«Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ Қазақстан Республикасында 13 атом-энергетикалық мамандықтар бағдарламасы және дайындық бағыттары бойынша сұранысқа ие болған МИФИ ҒЗЯУ, Л. Гумилев атындағы ЕҰУжәне АЭжБ бейінді жоғары оқу орындарымен бірлесіп қос дипломды білім беру бағдарламаларының инновациялық желілік нысанын алғаш рет сәтті жүзеге асырды. Қазіргі таңда білім беру бағдарламасының желілік нысаны бойынша «Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ-ның 12 ЕТҰ-нан 130-дан астам магистрант-тар білім алуда. Инновациялық жобаны енгізу нәтижесінде атомдық-энергетикалық саласының зияткерлік әлеуетінің өсуі 780 мың АҚШ$ құрайды.

УПРАВЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ ТОО «СП «ИНКАЙ» (ОПЫТ)

Джаксыбаев А.Х., Диракка А.
ТОО «СП «Инкай», Шымкент, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Экономическая ситуация в урановой отрасли осложнилась в виду падения спотовых цен на мировом урановом рынке, девальвации национальной валюты, а также в виду роста цен на импортируемые товары. Доходность ТОО «СП «Инкай» (далее по тексту – Компания) снижается и для поддержания на приемлемом уровне предприняты ряд мер по управлению издержками производства, что позволяет контролировать и оперативно реагировать на внешние негативные факторы.

В горнодобывающей деятельности ключевым аспектом является понимание пределов рентабельности (или прибыльности) деятельности. В основном, это обусловлено содержанием руды. Процесс подземного скважинного выщелачивания не является исключением. В Компании разработана «Финансово-экономическая модель», которая позволяет определить оптимальные параметры для выполнения производственной программы и достижения необходимого уровня рентабельности.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Экономическая модель нацелена на:

- расчет рентабельности и минимального содержания урана в горнорудной массе на проектируемых ГТП, с учетом прогнозируемых цен на уран в условиях ограничения себестоимости объема инвестиций в горно-подготовительные работы (ГПР);
- расчет текущего минимального (безубыточного) содержания урана в продуктивном растворе на эксплуатируемых геотехнологических полигонах (ГТП), для определения оптимального подхода к поэтапному выводу блока из эксплуатации с максимальной отработкой запасов и максимальным получением прибыли.

Входные параметры для моделей

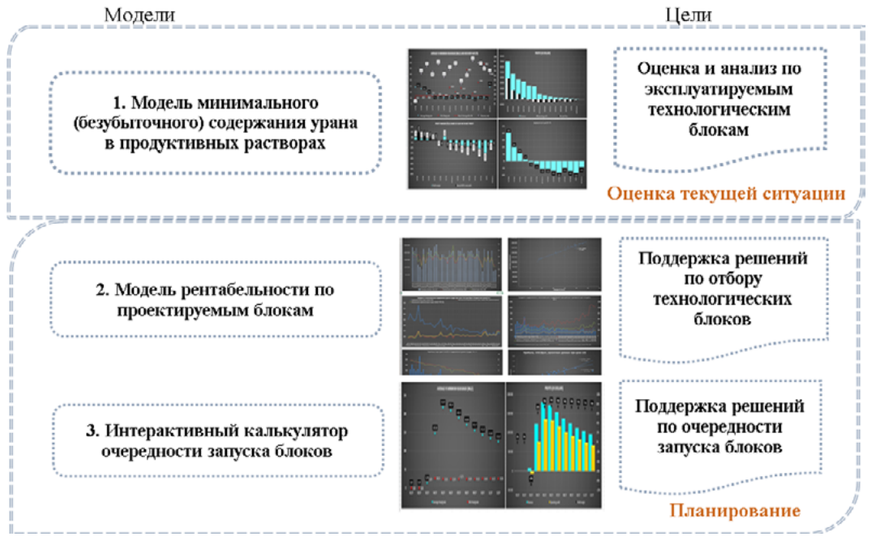
- база данных по всей имеющейся геолого-геотехнологической информации и, при необходимости, анализ её достоверности и дополнение;
- основные параметры по извлечению урана и сопутствующие данные, их компоновка и сроки эксплуатации;
- оценка параметров во время фактической эксплуатации, их корректировка и оценка влияния на общий процесс добычи.

Выходные параметры моделей

- оценка эффективности текущих затрат на уровне ГТП;
- анализ эффективности проведенных работ по ГПР и эксплуатации полигонов;
- выявление источников роста доходности на поблочном уровне;
- оценка экономического эффекта для различных вариантов схем вскрытия и технологических решений;
- ориентация на показатели прибыльности при планировании решений о сроках от-

работки/приостановке эксплуатации полигона;

- разработка оптимального подхода к поэтапному выводу блока из эксплуатации с максимальной отработкой запасов и максимальным получением прибыли.



Данные модели могут быть классифицированы как инструменты анализа и приняти

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Экономические модели на проектируемых ГТП позволяют осуществлять ранжирование и отбор блоков с учетом прогнозируемых цен на уран и с учетом ограничений по себестоимости, рентабельности и размеру инвестиций в ГПР. Кроме того, позволяют использовать данные результаты для оперативной оценки рентабельности и себестоимости с учетом выявленных закономерностей, описанных математической зависимостью. Сгенерированные данные используются при формировании годовых и долгосрочных планов горных работ.

Управление операциями добычных работ:

- баланс потока и управление дебитом;
- проведение РВР;
- содержание кислоты в выщелачивающем растворе;
- и другими параметрами.

ВЫВОДЫ

В условиях нестабильного мирового уранового рынка, характеризующегося высокой волатильностью спотовых цен, для сохранения конкурентоспособности Компании, требуется оперативное реагирование на изменяющуюся ситуацию и принятие эффективных решений, основанных на результатах обработки большого массива статистической и прогнозной информации по отработке ГТП, в кратчайшие сроки и на определенный временной срез. Инструменты, разработанные ТОО «СП «Инкай», позволили Компании значительно улучшить качество планирования производственной программы на средне-

срочную и долгосрочную перспективу, а стратегические решения, принятые на основе полученных результатов, обеспечат необходимый уровень доходности Компании.

Графическая демонстрация моделей приведены в Приложении 1.

Приложение 1

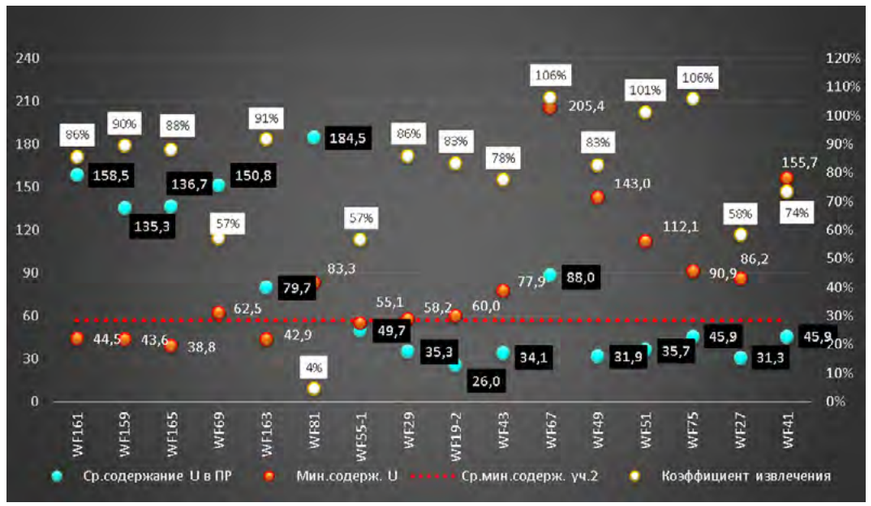


Рис. 1 Анализ эффективности действующих ГТП: среднее и минимальное содержание, % извлечения

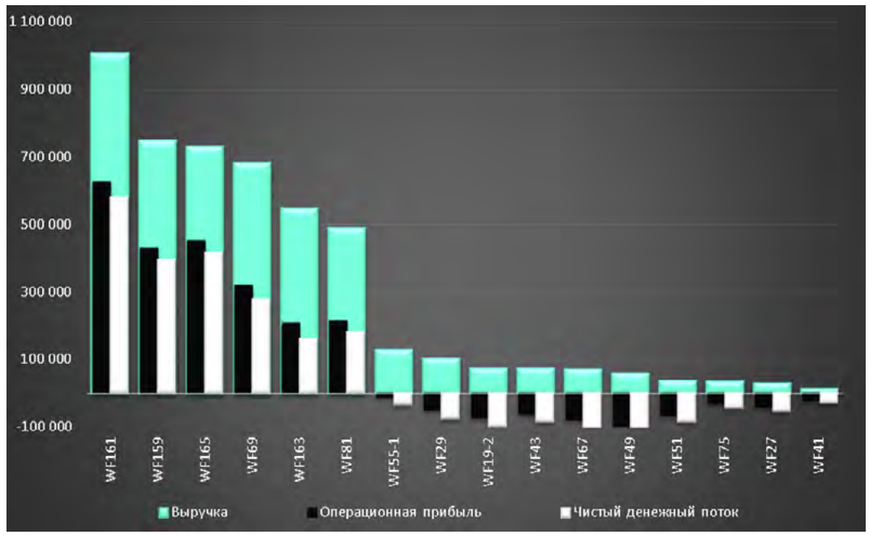


Рис. 2 Анализ эффективности действующих ГТП: доходы и прибыль

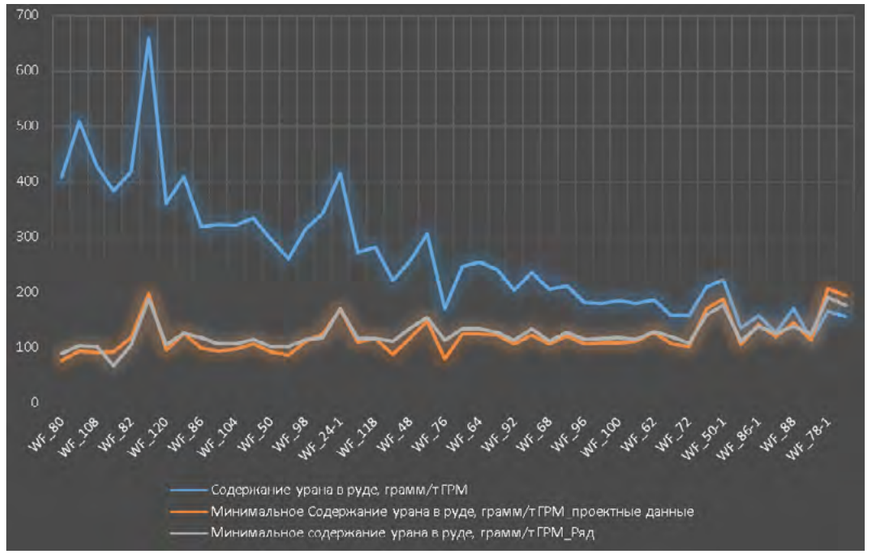


Рис. 3 Среднее и минимальное содержание урана в руде при цене 16.6 $/фунт

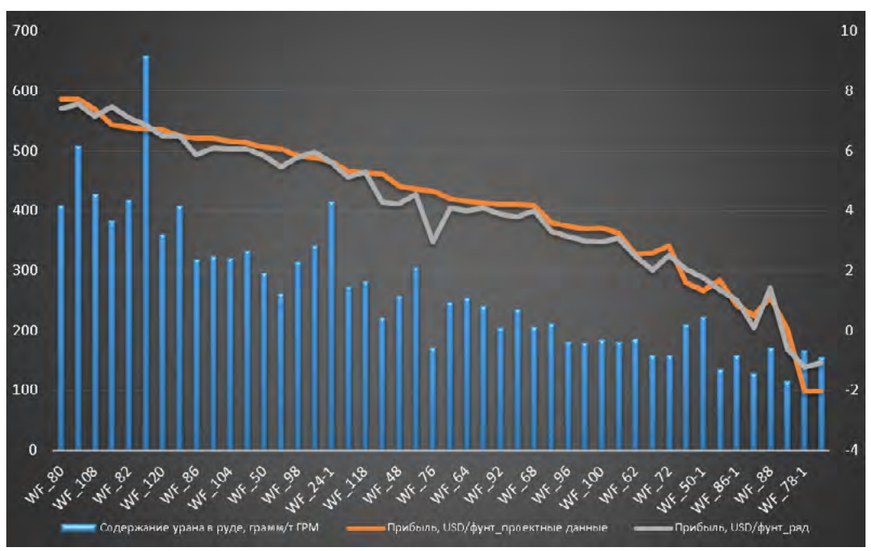


Рис. 4 Прибыль при цене 16,6$ и содержание урана в руде

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ НА БАЗЕ КРУПНЫХ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕНТРОВ

[1]Иоффе А.И., [2]Ибраев Б.М.
[1]Jülich Centre for Neutron Scence, Forschunszentrum
Jülich GmbH, Jülich, Germany
[2]АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

Тезисы

Подготовка хороших специалистов для промышленности должна включать не только полученные в университете фундаментальные знания, но также и специальное обучение на базе крупных ядерных исследовательских центров. Только в таких центрах, располагающих крупными ядерно-физическими установками, студенты могут получить практические знания, недоступные в университетских лабораториях.

Естественно, такая подготовка требует от ядерных исследовательских центров организации специальной образовательной программы в виде тематических школ, курсов и т.п. В данном докладе, в качестве примера, приводится ежегодная нейтронная школа, проводимая Центром Нейтронных наук в рамках Исследовательского центра в Юлихе, Германия (Jülich Centre for Neutron Scence, Forschunszentrum Jülich GmbH)). Программа школы включает в себя не только лекции, но и ежедневные различные нейтронные эксперименты, проводимые непосредственно самими участниками.

25 ЛЕТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Батырбеков Э.Г., Скаков М.К.
РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Одним из знаковых событий XX века стало закрытие Указом Президента Республики Казахстан Нурсултана Абишевича Назарбаева Семипалатинского испытательного полигона. Трудно недооценить важность такого решения Главы нашего Государства, как для Казахстана, так и для всего мирового сообщества в целом. Тем не менее, после закрытия СИП, возник ряд вопросов, которые необходимо было решать после обретения Казахстаном независимости. А именно: предстояло заняться ликвидацией инфраструктуры и последствий испытаний ядерного оружия; необходимо было провести конверсию бывшего военно-промышленного комплекса СИП и использовать его научно-технический потенциал уже в мирных целях; остро стоял вопрос контроля за проведением испытаний ядерного оружия на других действующих полигонах мира; необходимо было создавать научно-техническую, технологическую и кадровую базу для развития атомной энергетики в РК. Именно для решения этих вопросов на базе комплекса СИП и соответствующих научных организаций, Указом Президента Республики Казахстан №779 15 мая 1992 года был создан Национальный ядерный центр РК (НЯЦ РК).

Несмотря на все сложности переходного периода начала 90-х годов прошлого века, последующие трудные годы становления, которые предприятие прошло вместе со всей страной, можно с уверенностью констатировать, что НЯЦ РК успешно справился с поставленными государством задачами и на современном этапе развития активно наращивает свой опыт и компетенции в сфере мирного использования атомной энергии. В докладе представлена ретроспектива деятельности НЯЦ РК за прошедшие с момента его создания годы и выполнен обзор текущих работ.

Спектр проводимых сегодня в НЯЦ РК исследований включает большой пласт работ в обоснование безопасности атомной энергетики с использованием уникальной экспериментальной и технологической базы, которую удалось не только сохранить, но и модернизировать и приумножить. В этой области НЯЦ РК добился впечатляющих результатов и сегодня является мировым лидером в экспериментальном моделировании процессов, сопровождающих тяжелых аварии ядерных реакторов с плавлением активной зоны. Реализован ряд экспериментальных программ в сотрудничестве с японскими научно-исследовательскими и коммерческими организациями, часть из них продолжается в данный момент. Положительные результаты проведенных экспериментов получили международное признание и вызвали большой интерес к совместной с НЯЦ РК работе со стороны других зарубежных организаций, занимающихся разработкой новых реакторов.

В сфере обеспечения режима нераспространения ядерного оружия в НЯЦ РК впервые в мире разработаны и применены технологии ликвидации последствий проведения ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне. Проведены работы по извлечению подготовленного к испытаниям ядерного заряда, закрыты 181 штольня, 13 скважин и 12 шахтных пусковых установок, предназначенных для испытаний ядерного оружия. Созданы и усилены барьеры, исключающие несанкционированный доступ к отходам ядерной деятельности. Сегодня передовым опытом НЯЦ РК в этом направлении интересуется другие страны, на территориях которых действовали ядерные полигоны.

Уникальны по свое сути и разработки НЯЦ РК в области радиоэкологических исследований. В рамках этого направления создана и внедрена система выявления и ликвидации радиационно-опасных ситуаций с использованием современной аппаратурно-методической базы. Выявлены и охарактеризованы основные радиоактивно-загрязненные участки и объекты на 50% территории СИП общей площадью 9 210 км^2, проведены исследования «условно фоновых» территорий. На результаты обследования получены положительные экспертные заключения МАГАТЭ. Опыт такой работы вызвал интерес со стороны японских коллег, занимающиеся ликвидацией радиационно-опасной ситуации после аварии на АЭС «Фукусима».

Большое внимание в НЯЦ РК уделяется научным исследованиям в области управляемого термоядерного синтеза. В 2017 году проведен физический пуск Казахстанского материаловедческого токамака КТМ, предназначенного для исследования материалов термоядерных реакторов. Уникальность Токамака КТМ в том, что он позволяет исследовать поведение материалов при очень высоких тепловых нагрузках. Это первая в Казахстане установка для проведения научных исследований и испытаний для будущих термоядерных реакторов, являющаяся вкладом нашей страны в дело создания термоядерной энергетики. 26 мая 2017 года в Казани на 73-ем заседании Экономического совета стран СНГ шестью странами СНГ – Российской Федерацией, Республикой Казахстан, Республикой Беларусь, Республикой Таджикистан, Республикой Киргизия и Республикой Армения было подписано «Соглашение о совместном использовании экспериментального комплекса на базе казахстанского материаловедческого токамака». 11 июня 2017 года подписано соглашение о сотрудничестве между НЯЦ РК и Организацией ИТЭР, планируется проведение большого комплекса совместных работ.

Таким образом, сегодня НЯЦ РК является открытой для сотрудничества современной научной организацией, региональным лидером в области разработки и внедрения передовых инновационных технологий для атомной науки и техники, повышения ее эффективности и безопасности.

К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ УГРОЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ГОРНОРУДНОГО КОМПЛЕКСА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Ниетбаев М.А., Тлесбаев Д.С., Ермилов А.Н.
КФК UrAsia Energy Holdings Ltd, Астана, Казахстан

Компания Uranium One, представленная в Республике Казахстан своим филиалом UrAsia Energy Holdings Ltd., является одной из крупнейших в мире уранодобывающих компаний с глобально диверсифицированным портфелем международных активов в Казахстане, США и Танзании входящих в состав Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

В Казахстане Uranium One является крупнейшим партнером национального оператора АО «НАК «Казатомпром» и владеет 70% долей в СП «ЮГХК» (рудники Акдала и Южный Инкай), 50%-ной долей в СП «Каратау», 50%-ной долей в СП «Акбастау», 49,98%-ной долей в СП «Заречное» и 30%-ной долей участия в СП «Хорасан-U».

В своей деятельности Компания Uranium One неизменно и последовательно придерживается самых высоких стандартов в области техники безопасности, охраны труда и охраны окружающей среды. На всех Казахстанских предприятиях при лидирующей роли АО «НАК «Казатомпром» созданы, поддерживаются и развиваются в полном соответствии с национальным законодательством Республики Казахстан системы управления охраной труда и промышленной безопасностью (СУОТ ПБ), программы обеспечения качества радиационной безопасности, а также политики в области ОТ, ТБ, ООС, обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Являясь глобальным оператором, применительно к своим предприятиям в Казахстане, помимо решения операционных вопросов, компания U1 видит свою роль в дальнейшем повышении безопасности производства, минимизации экологических рисков и постоянном повышении общей культуры производства. Безоговорочно признавая лидирующую роль в Казахстане Национального оператора АО «НАК «Казатомпром», неизменно в духе взаимовыгодного партнерства компания U1 направляет свои усилия на освоение передовых и лучших практик. Неукоснительно соблюдая обязательные для такого рода предприятий требования, установленные законодательством Республики и актами компетентных органов, мы стараемся довнести в операционную практику лучшее из накопленного у нас международного опыта.

Дальнейшая систематическая работа включает в себя следующие направления:

- более широкое использование инструментов и подходов проектного менеджмента в планировании и реализации задач, стоящих перед производственными предприятиями;
- применение методологии бенчмаркинга для оценки потенциала на дальнейшее совершенствование;
- системный анализ рисков, в том числе и нацеленный на предотвращение критических рисков, которые могут привести к смертельному случаю (ежеквартальный аудит критических рисков, система оценки рисков).

В то время как методологии проектного менеджмента, снижения рисков и бенчмаркинга хорошо известны в бизнес среде, современные методы могут быть более глубоко задействованы в более широком спектре видов производственной деятельности. Особенно высоким мы видим потенциал использования этого инструментария в части работы, направленной на дальнейшее снижение уровня травматизма и аварийности, охраны окружающей среды.

Применение проектного подхода и методик анализа и снижения рисков, в частности, методики ICAM (метода анализа причинно-следственных связей при расследовании происшествий – Incident Causation Analysis Method), позволит выстроить более надежный барьер против возникновения даже предпосылок благоприятствующих возникновению нештатных ситуаций. Не претендуя на исключительность или оригинальность, методика ICAM, как и сформировавшаяся за последние десятилетия целая дисциплина проектного управления, является квинтэссенцией опыта и знаний, накопленных человечеством в области предотвращения нежелательных последствий нормальной жизнедеятельности. Такие методики для промышленности развивались прежде всего в прорывных передовых отраслях во второй половине XX века и прежде всего, в ядерной и авиационно-космической отраслях. В настоящее время они становятся нормой во всех производственных и научно-технологических процессах, являясь применимыми практически в любом бизнесе.

Потенциал из применения на наших предприятиях велик прежде всего для:

- проведения анализа коренных причин несчастных случаев, разработки мероприятий по предотвращению повторения;
- разработки инструментов персональной оценки рисков перед началом работ;
- повышения осведомленности работников о критических рисках (методик и инструментов для оценки);
- разработки системы признания заслуг за безопасную работу и постоянное улучшение по охране труда, безопасности и охране окружающей среды;
- проведение обучения ключевых сотрудников совместных предприятий методике расследования несчастных случаев ICAM.

На последнем пункте хотелось бы остановиться более подробно. В условиях сравнительно низких показателей травматизма и несчастных случаев, отработанных процедур реагирования и принятия корректирующих мер по произошедшим случаям, дальнейшим существенным резервом в предотвращении травматизма и несчастных случаем является работа по рисковым событиям и ситуациям, которые не имели прямого негативного результата, но потенциально могли привести к опасным последствиям. Т.е. таких ситуаций, в которых волей случая или экстраординарного вмешательства удалось избежать аварии или инцидента. В английской литературе такие события классифицируются как near miss или «чуть не произошло».

Анализ и работа по ситуациям near miss требует в условиях нашей республики достаточно кропотливого и аккуратного подхода, направленного прежде всего на изменение культуры и отношения к работе каждого сотрудника, когда каждый шаг и действие на рабочем месте анализируются на предмет безаварийности и безопасности не из боязни получения взысканий или изменения сроков выполнения работ, а как неотъемлемый элемент профессионализма. В контексте обсуждаемой ситуации, понятие культуры следует рассматривать как набор убеждений, ценностей (что особенно важно), норм и ос-

новополагающих допущений (то, как мы поступаем в рамках организации), которые определяет организация. По сути дела, обеспечивается взаимодействие общих ценностей и убеждений со структурами и системами управления организации для получения набора «неписаных правил», которые регулируют нормы поведения.

В рамках проводимой нами работы, июне 2016 г в офисе Казахстанского филиала компании (КФК) в Алматы был организован и проведен семинар-тренинг по внедрению международной методики ICAM по расследованию и предупреждению травматизма и несчастных случаев на производстве. Как уже говорилось, данный метод анализа причин происшествия дает возможность определить систематические недостатки в системе охраны труда, техники безопасности и охраны окружающей среды, помогает группам по расследованию найти, что реально пошло не так, и обеспечивает, чтобы рекомендации были сфокусированы на том, что необходимо сделать для профилактики повторения случившегося. Метод предназначен для построения «невосприимчивых к ошибкам» средств защиты от происшествий в будущем. Участниками тренинга были руководители служб ТБ. ОТ и ООС предприятий, а также руководители направлений в КФК, ответственные за аудиторскую, инспекционную и рисковую работу. По итогам семинара-тренинга участникам были выданы адаптированные методики и материалы по применению метода, в которых описывается процесс проведения расследования. Подчеркнем, что методика предоставляет прежде всего инструментарий, который не ограничивается рассмотрением ошибок и нарушений людей, а выполняет поиск способствующих факторов, ведущих к таким случаям. Осмелимся заявить, что в данной методике логично и последовательно собран воедино лучший мировой опыт по анализу и предотвращению несчастных случаев.

Информация в представленном итоговом документе разделена на 7 шагов, которые проведут пользователя последовательно по процессу проведения расследования. Инструментарий для проведения расследования был подготовлен в качестве ресурсного материала и специальных указаний для персонала, который должен проводить официальные расследования. Целями таких расследований с помощью данного процесса определяются с том числе:

- установление объективных фактов, определение способствующих и скрытых опасных факторов;
- изучение достаточности существующих средств контроля и процедур, а также выработка рекомендаций по корректирующим мерам, которые могут снизить риск и предотвратить повторное возникновение.

При этом важно понимать, что расследование по методу ICAM не предназначено для обоснования каких-либо обвинений или наложения дисциплинарных взысканий.

Сам процесс проведения расследования состоит из четырех простых шагов и соответствующих им процессов и инструментов: «Что произошло», «Почему это произошло», «Наши действия», «Чему мы научились, чем хотим поделиться».

На основании результатов расследования должны определяться корректирующие меры для предотвращения повторного возникновения. Это обеспечивается рассмотрением всех отсутствующих / отказавших средств защиты и организационных факторов, выявленных путем анализа ICAM. Не все способствующие факторы можно полностью исключить, и некоторые из них могут исключаться только с непомерно высокими из-

держками. Корректирующие меры, рекомендованные группой по расследованию, должны быть конкретными, измеримыми и поддающимися учету, обоснованными, своевременными, эффективными и проверенными (в английском написании красиво звучит акроним SMARTER, составленный из первых букв этих слов – Specific, Measurable, Accountable…).

Еще одним примером упомянутого выше продвижения международного передового опыта может служить введенный по инициативе нашей компании дополнительный контроль надежности и качества работы барьеров радиационной защиты персонала печных отделений рудников Южный Инкай и Буденновское. Этот метод контроля основан на регулярном отборе биологических проб сотрудников для объективного контроля за поступлением урана в организм. Для повышения надежности результатов и степени доверия к объективности контроля, отобранные образцы в кодированном виде анализируются сторонней сертифицированной государственной лабораторией (в РГП Институт ядерной физики).

Согласно рекомендаций Комиссии по Ядерному регулированию США, анализ биопроб необходим для рабочих: 1) находящихся ежедневно под воздействием уранового концентрата в воздухе или напрямую участвующих в работах по техническому обслуживанию, где может возникнуть пыль уранового концентрата, или 2) находящихся ежедневно под воздействием пыли урановой руды.

Результаты биооценок, возможные корректирующие меры зависят от количества выявленного урана. Принято, что при выявлении содержания свыше 15 µг/л требуются определенные действия. Необходимо учитывать, что любые подтвержденные положительные результаты анализа мочи являются признаком присутствия растворимого урана, воздействующего на почки. Так, при выявлении содержаний в диапазоне от 15 до 35 µг/л предписываются следующие действия:

1. провести повторный анализ для подтверждения результатов;
2. выявить причину повышенного содержания и ввести дополнительные контрольные меры, если результат подтверждается;
3. проверить данные проб воздуха для определения источника и концентрации дозы;
4. определить, могли ли другие рабочие подвернуться такому же воздействию и провести измерение биопроб для них;
5. учесть ограничения по назначению на работу, пока концентрация урана в моче рабочего не упадет ниже 15 µг/л.

При выявлении содержаний свыше 35 µг/л защита от урана и, вероятно, программы отбора проб воздуха неприемлемы. В таком случае предписываются следующие действия:

1. работа цеха может быть продолжена, только если есть фактическая уверенность в том, что другие рабочие не имеют концентрацию урана в моче более 35 µг/л;
2. ограничить допуск к работе для зараженных работников или повысить меры защиты от урана, если причина рудная пыль или урановый концентрат с высокой температурой прокалки;
3. анализировать биопробы еженедельно.

Результаты в виде отчетов с расшифровкой официально направляются на предприятие-заказчик для дальнейшего анализа и принятия необходимых корректирующих мер. Ска-

ны официальных отчетов предоставляются в рамках регулярных аудитов по ТБ, ОТ и ООС, проводимых на местах профильными специалистами Uranium One (как правило, ежемесячно) и в виде приложений к официальным ежеквартальным отчетам по ТБ, ОТ и ООС, направляемым в КФК в адрес Комплаенс-менеджера Uranium One.

ВЫВОДЫ

В целом, на данном этапе мы видим дополнительный потенциал в дальнейшем сокращении аварийности и травматизма на наших предприятиях в работе по предотвращению несчастных случаев в части поиска, анализа и устранения рисковых событий и ситуаций, которые потенциально могут привести к опасным последствиям, классифицируемым в международной практике как near miss.

Анализ и работа по ситуациям near miss требует определенных усилий, прежде всего по изменению культуры и отношения к работе каждого сотрудника.

Существенным инструментом, способствующим достижению таких целей, служит описанная выше методика анализа причинно-следственных связей при расследовании происшествий ICAM.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА КОШКАР-АТА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Дүйсенғалиев Н.М., Бигалиев А.Б.
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Интенсивное загрязнение воздуха, воды и почв, деградация животного и растительного мира, истощение природных ресурсов приводят к разрушению экосистем, усилению процессов опустынивания и значительным потерям биологического и ландшафтного разнообразия, росту заболеваемости и смертности населения. Следствием подобных изменений является снижение качества жизни населения и неустойчивое развитие экосистем и общества. По данным литературы девяносто пять процентов отходов ураноперерабатывающего производства складируется в виде рудных отвалов горных пород с промышленным содержанием рудного компонента, отвалов забалансовых руд, хвостов заводской переработки (хвостохранилище), отвалов пустых пород. Источниками загрязнения выше перечисленных отходов являются радионуклиды из цепочки распада Урана-238, Урана-235 и Тория-232. По предварительным оценкам мощность дозы гамма-излучения на поверхности отвалов территории страны достигает 3 000 мкР/ч [1-3]. Наиболее сложная экологическая обстановка сложилась вокруг хвостохранилища Кошкар-Ата, расположенного на 8 км восточнее побережья Каспийского моря вблизи г. Актау, в 5 км к северу от промзоны, и занимающего всю площадь природной впадины Кошкар-Ата. С 1965 года бессточная впадина Кошкар-Ата использовалась в качестве хранилища хвостовых отходов обогащения, неиспользуемых пока твердых отходов химико-гидрометаллургического производства (ХГМЗ), для приема и последующего испарения (транспортирующие твердые отходы) морской воды, сбросных вод серно-кислотного завода (СКЗ). Перед экологами Мангистау стоит непростая проблема. Если поддерживать в озере прежний уровень воды, то может произойти сброс токсичных отходов в Каспий. Если дать озеру высохнуть, то пылью будут заражены все земли и пастбища вокруг Актау и поселка Акшукур. Постоянно растущие объемы отходов промышленного производства формируют новые техногенные ландшафты, с ростом высоты отвалы и терриконы становятся источниками интенсивного пылеобразования. В последнее время из-за закрытия некоторых предприятий объем вод, поступающих в хвостохранилище, резко сократился и оно обмелело. Загрязненный радиоактивными и токсичными отходами, песок разносится ветром на близлежащие населенные пункты. На данный момент, по информации пресс-службы МООС, в хвостохранилище размещено 105 миллионов тонн отходов, в том числе 51,8 миллиона тонн слаборадиоактивых, с суммарной активностью в 11,2 тысячи кюри.

«Разработка природоохранных мероприятий по уменьшению техногенного воздействия Кошкар-Ата требуют научно-обоснованных, комплексных мер, включающих юридические, технологические и финансовые вопросы». Исследования по оценке последствий влияния хвостохранилища Кошкар-Ата на объекты окружающей среды, биоту и здоровье населения прилегающей территории, с учетом отдаленных (генетических) эффектов представляется чрезвычайно актуальным. Возникает необходимость ранней диагностики устойчивости генома природных популяций и прогнозирования текущих и отдаленных последствий влияния мутагенных факторов среды обитания. Особый интерес представляет в этом плане исследование механизмов индивидуальной радиочувствительности организмов. Возрастание частоты многих заболеваний, развитие которых зависит как от генетических, так и от внешнесредовых факторов, ставит вопрос о выделении групп повышенного риска, имеющих наибольшую чувствительность к воздействию генотоксических агентов. Радиация повышает наследственную уязвимость не только к раку, но, в первую очередь, к заболеваниям конкретных органов и систем, генетически являющихся органами-мишенами риска у конкретного организма. Радиационное воздействие на организм, кроме прямого действия на его функциональные подсистемы, индуцирует или активизирует и защитные системы (репарации, адаптации), регулирующая роль которых состоит в компенсации воздействия, минимизации прямого действия облучения, восстановлении функций при репарации повреждений. Как показывают результаты многочисленных исследований, последствия действия радиации в значительной мере обусловлены повреждениями ДНК [4,5].

Популяционно-статистический анализ здоровья населения прилегающей территории (изучение общей заболеваемости, смертности взрослого и детского населения показал, состояние биоты и здоровья населения в различных районах Мангистауской области зависит от степени загрязнения окружающей среды и наносит непоправимый ущерб состоянию здоровья населения. В результате резко растет так называемая «экозаболеваемость» и смертность от влияния факторов среды обитания. Так, изучение структуры заболеваемости населения показала значительную зависимость от состояния загрязненности окружающей среды «экоболезни» систем кровообращения, рак органов дыхания, которые развиваются под влиянием выбросов в атмосферу промышленных отходов, а также радиоактивного загрязнения. Рекогностировочная оценка радиационной активности по гамма-излучению показала, что по периметру хвостохранилища Кошкар-ата и в близлежащих населенных пунктах она находится в пределах 0,05-0,011 мкЗв/час. Высокая радиоактивность сохраняется на территории п. Баскудык, Акшукыр и вблизи ХГМЗ – 1,73 мкЗв/час. В целом, исследуемый район характеризуется незначительным уровнем радиационного фона, среднее значение МЭД в целом по району составляет 0,14 мкЗв/ч. Абсолютный максимум – 0,66 мкЗв/ч – зарегистрирован в объекте №6. Установлено, четкой зависимости цитогенетических нарушении по микроядерному тесту (МЯ) от возраста обследованных не наблюдается. Количество клеток с МЯ колеблется в пределах возрастных групп незначительно (до 30 лет - 0,204-0,211; до 50 лет – 0,199-0,287; свыше 60 лет – 0,189-0,201; у детей – 0,102-0,245). Выявлено увеличение частоты клеток с цитогенетическими нарушениями (МЯ) зависимости от расположения населенного пункта от источника загрязнения, в частности хвостохронилище Кошкар-Ата. Так, наибольшая частота выявлена у лиц проживающих в зоне ГХМЗ г.Актау и поселках Баскудык, Акшукыр, что соответствует данным радиоэкологического обследования этих территорий. Среди всех нозологических форм заболеваний человека онкологические и врожденные пороки развития относятся к болезням с генетической компонентой. Так, в 2013-14 гг. новые случаи всех видов рака, зарегистрированных в амбулаторных учреждениях на 100 000 населения в Мангистауской области, составили 111,3 на 100 000 населения и абсолютное число - 629. Выявлены врожденные аномалии, в частности число впервые зарегистрированных заболеваний - 364,9 (на 100 000 населения) и абсолютное число – 2 073 в РК; По изученным районам: г. Актау - 823,9 и 1510, в Мангистауском районе - 187,1 и 63; в Мунайлинском районе - 140,9 и 158, в Тупкараганском районе -109,4 и 25 соответственно. В населенных пунктах, прилегающих к хвостохранилищу Кошкар-Ата, выше приведенные показатели заболеваемости населения составили: в Мунайлинском районе в поселке Атамекен - 3 956,3 на 100 000 населения и абсолютное число 4 130 (в том числе 2 272 у детей), в Кызылтобе - 7 339,2 и 9 079 (в том числе 3 131 у детей), в

пос. Баскудык - 16 064,4 и 9 108 (в.т.ч., 4 142 у детей) соответственно. В Тупкараганском районе в поселке Акшукыр - 7 362,8 на 100 000 населения и абсолютное число 3 264 (в том числе 1 235 у детей).

Таким образом, анализ общей заболеваемости населения, проживающего на прилегающей территории, показывает наличие зависимости показателей общей заболеваемости от расстояния от источника загрязнения. Исследования по определению количественного содержания радионуклидов в отобранных пробах (поверхностных и грунтовых вод, биосубстратах) из населенных пунктов ст. Мангистау – 1, Мангистау – 5, с. Баскудук, с. Акшукыр не превышали установленные гигиеническими нормативами пределы в 0,2 и 1,0 Бк/кг соответственно. Установлено, что отдельные пробы почвы, взятые из населенных пунктов (п.Акшукур, п.Баскудык, п.Мангистау) и промышленного предприятия (завод ХГМЗ), показали высокое содержание радионуклидов. Так, содержание радиоцезия-137 во всех пробах ниже 3 Бк/кг. По содержанию радионуклида калия-40 сравнительно обнаружены в пробах почвы, отобранные из поселков Акшукур (414 Бк/кг) и Мангистау (242 Бк/кг), как и в исследованиях предыдущих лет. В биосубстратах сельскохозяйственных животных отмечается заметное накопление отдельных радионуклидов. В частности по радию Ra^{226} и торию Th^{232} наблюдается превышение НД у лошади (в пределах от 7,0 до 9,0, кроме п. Акшукыр) и у верблюда (15,0). По торию во всех точках отбора отмечается превышение содержания элемента в пределах от 7,0 до 14,0. Наиболее высокий уровень тория был зафиксирован в шерсти лошади. Превышение НД по Cs^{137} и K^{40} не наблюдается во всех исследованных точках. В растениях отмечается высокий уровень аккумуляции Ra^{226} в пунктах п. Мангистау-1 (22,0 ± 11,01), п. Акшукыр (17,0 ± 8,02) и п.Баскудык (47 ± 13,01), а содержание Cs^{137} не превышает значения НД во всех исследованных точках. Выявлена видовая специфичность накопления отдельных элементов. Так, у растения полынь отмечается максимальное накопление Th^{232} в точке отбора Мангистау-1 (39,0 ± 16,01) и п. Баскудык (26,0 ± 8,01), а также накопление K^{40} (10,0-38,0). Высокое содержание радиоактивных изотопов в образцах крови населения прилегающих территорий отмечаются по K-40 на всех исследованных точках, а максимальное на пункте г.Актау (342 ± 20 Бк/кг), по Cs-137 не выявлено превышение нормативной дозы (НД). Незначительные превышения наблюдаются по Pb^{214}, Pb^{210}, Ac^{228}, Tl^{208}.

В основу настоящей работы положено изучение уровня и динамики показателей заболеваемости и смертности населения, причиной которых в большей мере является наследственная патология, индуцированная радиационными факторами. Использованы также материалы лечебно-профилактических учреждений департамента здравоохранения Мангистауской области: сведения об обращаемости, полученных на основании первичной учетной документации, данные специальных комплексных медицинских осмотров бригадами врачей различных специальностей, данные прозектуры. Терминология заболеваний взята из книги «Статистическая классификация болезней, травм и причин смертей», основанная на международной классификации болезней. В настоящее время эта классификация используется при проведении всех санитарно-статистических работ в нашей республике. Используя ежегодные уточненные данные о численности населения по районам Мангистауской области вычислены интенсивные показатели заболеваемости, смертности на 1 000 и 10 000 населения. Проведены дополнительно консультации и уточнение диагноза, экспертная оценка полученных данных путем заполнения специальных карт. Карта заполнялась на основании имеющихся данных в истории развития, истории болезни (форма №3), в карте диспансерного наблюдения (форма №12)

и на основании сведений, полученных при медицинском осмотре. При изучении структуры заболеваемости населения установлена значительная зависимость от состояния загрязненности окружающей среды (выявлены экоболезни: систем кровообращения, рак органов дыхания, которые развиваются под влиянием выбросов в атмосферу промышленных отходов, а также радиоактивного загрязнения.) Отмечается зависимость экоболезней от качества и количества воздействующих факторов техногенного происхождения, о чем свидетельствуют данные зарубежных и отечественных исследователей. Установлено, что самый высокий показатель младенческой смертности зафиксирован в 2011 году в Мангистауском районе (21,1%), а самый низкий в Тупкараганском районе (12,3%). В 2012 году - в Бейнеуском районе (19,0%) и Мангистауском районе (11,2%). В 2013 году по младенческой смерти Бейнеуский район остается на 1 месте (18,3%), на втором месте оказывается Тупкараганский район (4,8%). В 2014 году на 1 место выходит Мангистауский район (12,3%), на 2 месте Тупкараганский район (11,3%) и на последнем месте Каракиянский район (7,9%). В 2015 году на 1 месте снова Мангистауский район (14,6%), на последнем месте город Актау (5,2%).

В работе применен также метод цитогенетического и генетического скрининга населения прилегающей к хвостохранилищу территории с использованием методики микроядерного анализа культуры лимфоцитов периферической крови. Проведенные нами ранее исследования с использованием микроядерного теста дают определенные представления о состоянии генетического аппарата соматических клеток организма обследованных (таблица-1). С помощью микроядерного теста можно выявить лиц с повышенным риском, имеющих выраженную нестабильность генома. Больные с высоким показателем микроядер были обследованы повторно через 1 месяц. Результаты исследования показали повышенное количество микроядер в эритроцитах периферической крови. По размерам микроядра могут быть крупными или мелкими. Эритроциты с мелкими микроядрами составляли 88%, а с крупными - 12% .

Таблица 1. Число эритроцитов с микроядрами в крови обследованных

Группа обследованных	Кол-во больных	Число проанализированных эритроцитов в тысячах	Эритроциты с микро ядрами	
			абс.	в %
Контрольная группа	50	482,4		0,427±0,01
Больные с цереброваскулярной патологий	25	214,8	206	0,689±0,07
С перинатальной патологией	25	212,6	148	1,411±0,07
Дети с ВНР	25	258,8	300	2,99±0,1
Больные с гепатоцеребральной дистрофией	25	259,6	774	3,82±0,1
С другими наследств дегенеративными заболеваниями	25	245,1	991	3,68±0,15
С болезнью Дауна	10	98,1	902	4,3±0,1

По данным многих авторов высокий уровень эритроцитов с микроядрами зарегистрирован у больных с различными формами миопатии. Дальнейшие исследования позволили прийти к выводу, что нестабильность генома подтверждается и другими тестами [6-8]. Имеются неоспоримые свидетельства того, что поражение тимуса усиливает мутационный процесс. У здоровых детей число эритроцитов с микроядрами составило 0,24±0,01%., у больных с тимомегалией - 0,83±0,14.

В жизнедеятельности организма существуют периоды, когда уровень цитогенетически измененных клеток в организме значительно возрастает. Особенно значительна цитогенетическая нестабильность у новорожденных и лиц старшего возраста (68-80 лет).

Установлено, что на уровень цитогенетически измененных клеток влияет биоритмологическая организация живого, и извращение биоритма «сон-бодрствование» может привести к цитогенетической нестабильности и иммунодепрессии организма [9]. Хромосомный анализ показал, частота клеток с аберрациями хромосом составляет в среднем 2,4%, а частота аберраций на клетку составляет 0,0246. Выявлены как структурные (93,6%), так и числовые аберрации (6,4%) хромосом, Среди клеток с нарушениями структуры хромосом преобладали аберрации хромосомного типа (67,04%) над хроматидными (32,95%), что является характерным для радиационного воздействия. Аберрации типа транслокации, дицентрики, кольцевые хромосомы используются в качестве критерия для биологической дозиметрии, а анеуплоидия и полиплоидия в диагностике онкологического риска.

В результате проведенных молекулярно-генетических исследований выявлено, что у жителей Мангистауской области минорные (мутантные) гомозиготные генотипы XRCC1Trp/Trp и XRCC3 Met/Met встречаются с частой 3% и 2% соответственно и не обнаруживаются у жителей Алматинской области. Выявлено, что частота минорного аллеля 194Trp гена XRCC1у жителей Мангистауской области достоверно выше, чем у жителей Алматинской области (OR=5,02; CI 95%= 2,36-10,70; $\chi 2$=20,426; p=0,000).

Таким образом, можно полагать, ввиду неоднозначной экологической ситуации в данном регионе, носители минорных генотипов могут быть более подвержены действию неблагоприятных факторов окружающей среды и развитию генетических (наследственных) заболеваний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ***Сушко С.М., Шишков И.А.*** Уранодобывающая отрасль Казахстана и перспективы её развития // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитание человека: материалы IV международ. конф. - Томск, 2013. - с. 506-511.
2. Отчет о НИР: «Проведение постоянного государственного мониторинга за пылением радиоактивных и токсичных отходов хвостохранилища Кошкар-Ата» (заключительный) / РГП «Национальный ядерный центр», ДГП «Институт ядерной физики». – Алматы, 2003. - 83 с.
3. Отчет о НИР «Проведение постоянного государственного мониторинга за пылением радиоактивных и токсичных отходов хвостохранилища Кошкар-Ата» / ТОО «Эко-сервис С». – Алматы, 2005. - 65 с.
4. ***Luckey T.D.*** Nature with ionizing radiation: a provocative hypothisis //Nutririon and cancer. - 1999. - Vol. 34. - p. 1-11.
5. ***Eckardt-Schupp F., Klaus C.*** Radiation inducible DNA repair processes in eucariotes // Biochim. - 1999. - Vol. 81, №2. - p. 161-171.
6. Наследственность и здоровье человека / Е. Ф. Давиденкова, И. В. Бутомо. - Ленинград : Знание, 1985. - 32 с.
7. ***Гребнев Д.Ю., Друй А.Е.*** Снижение уровня эритроцитов с микроядрами после воздействия ионизирующего излучения на фоне парентерального введения аквакомплекса глицеросольвата титана // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке» №7 т.10. 2008 г.
8. ***Куандыков Е.У. , Тастемирова Б.У. , Феклистова Н.А. и др.*** Клинико-генетическое и биохимическое обследование беременных из групп риска по рождению детей с врожденной и наследственной патологией // Тезисы докладов Второго Всесоюзного съезда медицинских генетиков, Алма-Ата, 1990.-Москва, 1990. - с. 430.
9. ***Степанова Г.Н. , Ромм И.Я.*** Здоровье и развитие детей, родившихся при наличии длительных родов у их матерей // Матер. науч. конф. по проблеме интранатальной охраны плода. -Л. -1963. - с. 22-23.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОПУХОЛЕВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Малтикенов А.К.
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Лазерная терапия (синонимы: лазеротерапия ЛТ, низкоинтенсивная лазерная терапия, low-level laser therapy, LLLT) – один из методов физиотерапии, лечебное применение излучения оптического диапазона, источником которого является лазер. Особенностью такого светового потока является наличие одной фиксированной длины волны (монохроматичный свет). Средние мощности физиотерапевтических лазеров чаще всего находятся в пределах 1-100 мВт, импульсные мощности от 5 до 100 Вт при длительности световых импульсов 100-130 нс (~10^{-7} с). Выбор значений энергетических параметров существенно зависит от режима работы лазера и методики.

Для эффективного лечения необходимо строго и последовательно задавать все параметры методики лазерной терапии: длина волны, режим работы и мощность низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ), время экспозиции, тип методики, частота повторения импульсов, локализация воздействия и периодичность.

В настоящее время расширился диапазон использования НИЛИ в медицинской практике. Многочисленными экспериментальными и клиническими исследованиями отечественных и зарубежных авторов показано, что НИЛИ обладает биологически активными свойствами на ткани, глубина их проникновения колеблется от нескольких миллиметров до 4-8 см и зависит от длины излучаемой волны. Установлено, что НИЛИ изменяют биофизические параметры клеточных мембран, воздействуют на митохондрии, вызывая различные ферментативные реакции, а в местах нарушения трофики улучшают доставку и скорость потребления кислорода. Повышается активность каталазы, стимулируется выработка митохондриями АТФ, улучшается васкуляризация тканей. НИЛИ способствует повышению гуморального и клеточного иммунитетов. Все это ведет к увеличению неспецифических гуморальных факторов защиты, стимуляции костно - мозгового кровообращения, усиления фагоцитарной активности микро- и макрофагальной системы, что выражается в противовоспалительном, антиаллергическом, противоотечном и анальгетическом эффектах.

Внедрение в клиническую практику методов лазерной фототерапии в лечении воспалительных заболеваний в различных областях медицины, показало их высокую эффективность, надежность и стойкий терапевтический эффект.

Процедуру проводят с помощью специализированных оптических насадок посредством которых лазерное излучение доставляют в полость больного органа через цистоскоп с заданным пространственным распределением энергии. Используют непрерывное излучение практически всех спектральных диапазонов. Воздействие осуществляют при мощности 150-300 мВт в течение 5-10 мин. Поскольку площадь воздействия строго задана формой оптической насадки, мощность излучения устанавливается, как правило, на максимальный уровень (у насадок есть потери).

Перспективным выглядит сочетанное использование НИЛИ с внутрипузырной химиотерапией ВПХТ. При такой комбинации, по мнению ряда авторов, может быть увеличена биодоступность опухолевых клеток к различных химиотерапевтическим агентам.

Целями настоящего исследования были следующие:

1. определить оптимальный вариант физического фактора, влияющего на проницаемость тканей мочевого пузыря для местной химиотерапии;
2. разработать методику низкоинтенсивного лазерного воздействия местной химиотерапии рака мочевого пузыря РМП;
3. апробация разработанной методики у онкологических больных.

Применение данных методов у больных РМП способствует более адекватному перераспределению химиопрепарата, при котором накопление больших количеств цитостатика происходит в опухолевой ткани. На основе анализа экспериментальной работы, проведенной на модели животных, продемонстрирована эффективность и безопасность новых методов ВПХТ с использованием НИЛИ. Проведено сравнение эффективности ВПХТ в стандартном режиме, а также в комбинации с НИЛИ на сопоставимых группах пациентов.

Практическая значимость исследования заключается в следующем. Проведение НИЛИ в комбинации с ВПХТ приводит к перераспределению накопления цитостатика в нормальных и опухолевых тканях слизистой мочевого пузыря, что сопровождается увеличением содержания химиопрепарата в опухоли, потенцируя более выраженное противоопухолевое действие препарата без увеличения риска развития осложнений проводимого лечения. Внедрение в клиническую практику методики ВПХТ с использованием НИЛИ позволит повысить эффективность внутрипузырной цитотоксической терапии и увеличить продолжительность безрецидивного периода у больных РМП после выполненной стандартной трансуретральной резекции ТУР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методы комбинированного адъювантного лечения больных РМП промежуточного риска: НИЛИ+ВПХТ - показали повышение эффективности, хорошую переносимость, безопасность для пациента, возможность проведения в амбулаторных условиях.

Результаты оценки побочных реакций различных видов терапии на модели животных показали, что комбинация фотодинамической терапии ФДТ+ВПХТ обладает большей токсичностью и выраженностью морфологических изменений слизистой оболочки мочевого пузыря по сравнению со стандартной ВПХТ и комбинации НИЛИ+ВПХТ.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

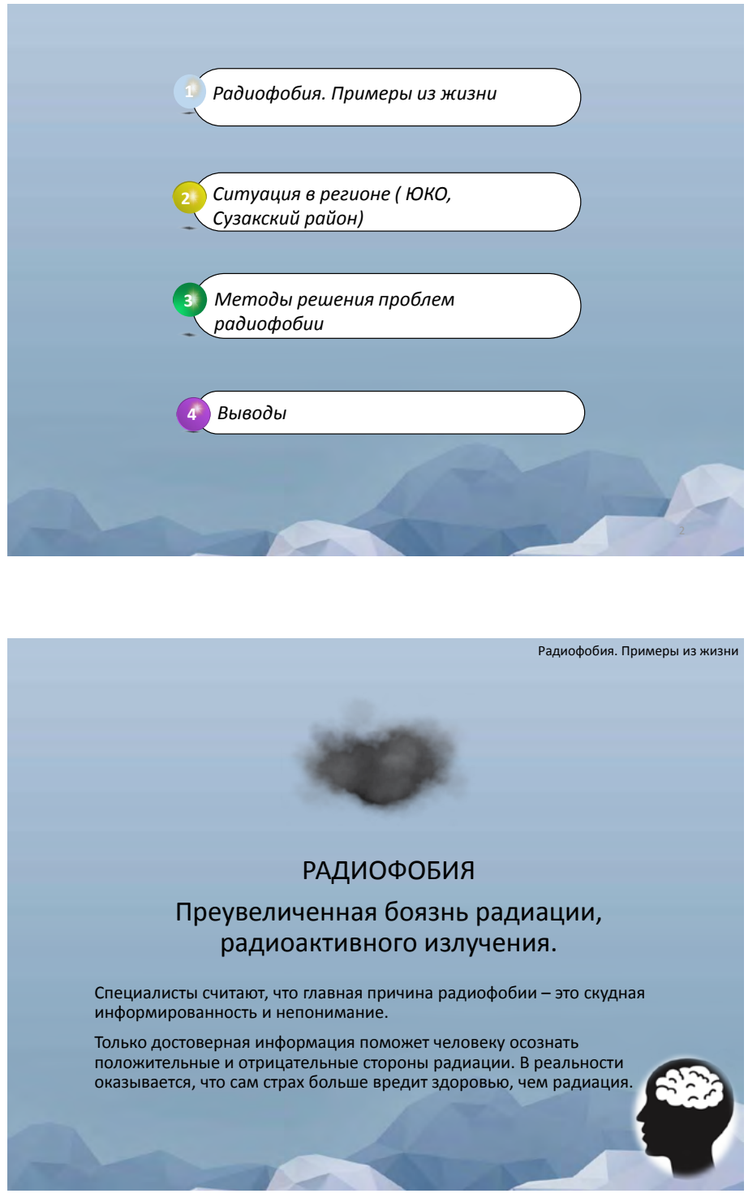
1. Для проведения сеанса низкоинтенсивного лазерного облучения оптимальными разработанными режимами являются: мощность лазера – 150 мВт, плотность энергии – 1,6 Дж/см, время – 11 мин, общая энергия – 176 Дж.
2. Внутрипузырные инсталляции химиопрепарата должны выполняться немедленно по окончанию сеанса НИЛИ. Экспозиция химиопрепарата должна составлять 1 час.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Красновский А.А.*** Фотодинамическое действие и синглетный кислород // Биофизика. 2004. т. 49. № 2. с. 305-321.
2. ***Странадко Е.Ф.*** Исторический очерк развития фотодинамической терапии // Лазер. мед. 2002. т. 6. Вып. 1. с. 4-8.
3. ***Gao X, Ren S, Xu C et al.*** Thulium laser resection via a flexible cystoscope for recurrent non-muscleinvasive bladder cancer: initial clinical experience. BJU Int 2008 Nov;102(9):1115-8. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18565172
4. ***Johnson DE.*** Use of the holmium:YAG (Ho:YAG) laser for treatment of superficial bladder carcinoma. Lasers Surg Med 1994;14(3):213-8. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8208047

ПРОВЕДЕНИЕ РАЗЪЯСНИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ С НАСЕЛЕНИЕМ В ВВЕРЕННЫХ ПОДШЕФНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ РАДИОФОБИЯ, ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ПОВЫШЕНИЕ ГРАМОТНОСТИ В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Болысбаев Е.
ТОО «Каратау», Шымкент, Казахстан



Радиофобия. Примеры из жизни

Начало XX века

В течение 30 лет, примерно с 1905 по 1935 год, на массовом рынке были свободно доступны продукты, которые у современного потребителя ничего, кроме панического ужаса, вызвать не могут.
В коллекции музея Кюри в Париже хранится пудра Thoradium с добавками тория и радия.
Джеймс Чедвик изучал ионизацию фосфора используя как источник излучения радиоактивную зубную пасту.
В коллекции университетского консорциума Окриджа собраны десятки предметов – бачки для насыщения воды радоном и радием, таблетки с радием, радиоактивные коврики.

С 1916 по 1929 год Американская медицинская ассоциация постановила, что продукты для получения «живой воды» с радоном должны создавать не менее двух микрокюри радона в сутки на литр.

Вера в целебную радиацию докатилась и до СССР – в 1929 году Главкурупр СССР Грузии публиковал в газетах Москвы рекламу «Следите за здоровьем – пейте натуральную углекислую щелочную радиоактивную воду “Боржом”».

Радиофобия. Примеры из жизни

Случаи породившие радиофобию у человечества

В 1954 году ядерный взрыв Castle Bravo на атолле Бикини

1962 года ядерный взрыв Starfish Prime, Гавай

10 октября 1957 — Авария в Уиндскейле — Великобритания — INES 5

28 марта 1979 — Авария на АЭС Три-Майл-Айленд — США — INES 5

26 апреля 1986 — Авария на Чернобыльской АЭС — СССР, — INES 7

Семипалатинский ядерный полигон 1949 -1990 гг.

Ядерный полигон в штате Невада 1951 – н.в.

Случай усугубивший радиофобию у человечества XXI веке

11 марта 2011 — Авария на АЭС Фукусима-1 — Япония — INES 7

Многих случаев можно было бы избежать при большей осторожности и соблюдении элементарных предосторожностей, и очень много жертв острого радиационного синдрома – люди, привыкшие к радиации оттого, что постоянно имели с ней дело по работе. Те, кто был уверен, что понимают это явление, чаще всего становились излишне беспечны с ним вплоть до того, что сознательно или подсознательно заставляли себя игнорировать риски радиации.
Публика, которая радиацию не понимала, реагировала иначе – либо страстным восторгом, либо паническим ужасом. Таким образом, рациональность чревата беспечностью, иррациональность чревата радикализацией мнений.

Хочется верить, что новые технические решения позволят человечеству преодолеть «синдромы», порожденные катастрофами прошлого, и найти то сочетание компонентов энергетики будущего, которое даст ясную и безопасную перспективу

Ситуация в регионе (ЮКО, Сузакский район)

На сегодняшний день в Сузакском районе, ЮКО успешно работают семь добычных предприятий, которые вокруг себя образовали кольцо шоссейной дороги или как принято называть «атомное кольцо».
Вдоль кольца расположены около 10 населенных пунктов. Крупные из них : Сузак, Кыземшек, Каратау, Каракур.
Каждый день по этим дорогам курсируют сотни автомашин с радиоактивными продуктами, такие как товарный десорбат, ЗОУ, ХКПУ.
У населения имеется некий страх, так как у жителей близлежащих сел есть риск стать пленником радиации.
В обществе ходят разнокалиберные слухи о том, что в добычных предприятиях региона работать очень опасно и что проработавший там человек сильно воздействован радиации.

Ситуация в регионе (ЮКО, Сузакский район)

МИФ 1-й.
Работавший в добычном предприятии человек обречен на тяжелые болезни?

Реальность1: Отчеты по ежегодному профосмотру за 10 лет не имеют случаев профессионального заболевания, тем более от радиации

Ситуация в регионе (ЮКО, Сузакский район)

МИФ 2-й.
Наши предприятия загрязняют окружающую среду радиацией?

Реальность: Ежегодные проверки со стороны уполномоченных органов говорят об обратном.
У нас в предприятиях действуют очень жесткие требования по ОТ, ОС,РБ.
ПСВ- это экологичный способ добыи урана.
Газоочистка во всех технологических переделах.
Дезактивация готовой продуции.

Ситуация в регионе (ЮКО, Сузакский район)

МИФ 3-й.
Работающий в добычном предприятии человек «зараженный» радиацией.

Реальность: Ежедневно наши работники проходят через сан.пропускник. Работающие у нас имеют индивидуальные дозиметры. Радиационный контроль во всех стадиях жизнедеятельности.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА КИР «БАЙКАЛ-1»

Тимонов А.
РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Проблема утилизации радиоактивных отходов (РАО) в Республики Казахстан сохраняет свою актуальность до настоящего времени, несмотря на закрытие ряда предприятий атомно-промышленного комплекса и других предприятий, использующих в производственном процессе различные виды источников ионизирующего излучения. Также остра проблема захоронения ИИИ для онкологических учреждений и промышленных предприятий, где организовать их хранение в соответствии с требованиями нормативных документов очень сложно или невозможно. Значительную долю общего количества накопленных РАО составляют отработанные (с истекшим сроком эксплуатации) источники ионизирующего излучения (ИИИ).

Отработавшие свой ресурс закрытые радиоактивные ИИИ представляют собой класс исключительно опасных радиоактивных отходов, поскольку большинство из них содержат радиоактивные материалы высокой удельной активности. В связи с этим утечка даже небольшого количества радиоактивного материала источника может вызвать значительное загрязнение окружающей среды и представлять угрозу для здоровья людей.

Учитывая важность данной проблемы и реальную угрозу здоровья людей в 1993 году в Министерстве науки и новых технологий было проведено совещание, на котором было принято решение о создании хранилища отработанных источников ионизирующего излучения на базе стендового комплекса «Байкал-1» Института Атомной Энергии Национального Ядерного Центра Республики Казахстан.

Первая очередь технологического комплекса «Байкал-1» для хранения источников ионизирующего излучения и твердых радиоактивных отходов была сдана в эксплуатацию в январе 1995 года.

Комплекс исследовательских реакторов «Байкал-1» расположен на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона в 65 километрах к югу от административного центра города Курчатов.

Работы по транспортированию и долговременному хранению РАО проводятся в соответствии со следующими нормативными правовыми документами по обращению с РАО:

— Закон Республики Казахстан «Об использовании атомной энергии», утвержден Президентом Республики Казахстан от 12 января 2016 года №442-V ЗРК;
— Закон Республики Казахстан «О радиационной безопасности населения» от 23 апреля 1998 года №219-I;
— гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 155;
— санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утверждены приказом и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 марта 2015 года № 261;

— правила организации сбора, хранения и захоронения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, утверждены Приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 8 февраля 2016 года № 39;
— правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, утверждены постановлением Правительства Республики Казахстан от 19 марта 2013 года № 259;
— экологический кодекс Республики Казахстан, утвержден Президентом Республики Казахстан от 09.01.2007 года № 212;
— технологический регламент. «Порядок сбора, временного хранения и передачи на долговременное хранение радиоактивных отходов от предприятий и учреждений Республики Казахстан на КИР «Байкал-1»», №37-363-01/1265вн от 09.08.2016 года.

Комплекс долговременного хранилища РАО включает в себя следующие сооружения и оборудования:
— автотранспорт предприятия, предназначенный для транспортирования контейнеров с радиоактивными отходами и ИИИ;
— радиационно-защитную камеру (РЗК), предназначенную для идентификации источников ионизирующего излучения и их перегрузки;
— промежуточное хранилище радиоактивных отходов – используемое для временного хранения незаполненных чехлов с источниками ионизирующего излучения;
— транспортно-технологическую систему (козловой кран, защитный перегрузочный контейнер, захваты), с помощью которой осуществляются технологические операции по перемещению контейнеров с радиоактивными отходами и другого оборудования;
— долговременное хранилище радиоактивных отходов (конечный пункт в технологической цепочке, в котором размещаются на долговременное хранение радиоактивные отходы).

Приемом и транспортированием РАО автомобильным транспортом в филиале ИАЭ РГП НЯЦ РК занимаются по предприятию сопровождающие из числа инженерно-технических сотрудников службы по обращению с радиоактивными веществами.

Сопровождающий несет полную ответственность за сохранность и своевременную доставку РАО, а также правильное оформление приемо-сдаточных документов.

Все работы по приему, транспортированию, переупаковке, идентификации и размещению на долговременное хранение РАО осуществляются на основании лицензий, выданных Комитетом атомного и энергетического надзора и контроля Министерства Энергетики Республики Казахстан, в соответствии с действующей нормативно-правовой документацией Республики Казахстан, международных стандартов и в строгом соблюдении требований по обеспечению безопасности и физической защиты.

Транспортирование РАО на КИР «Байкал-1» осуществляется в сертифицированных транспортных защитных контейнерах на специально оборудованных автомобилях (рисунок 1). Спецавтомобили оборудованы таким образом, что ни водитель, ни сопровождающее лицо не подвергаются воздействию ионизирующего излучения, выше уровней, установленных требованиями гигиенических нормативов и санитарными правилами. Во время транспортирования, так и на всех остальных этапах технологического процесса, осуществляется дозиметрический контроль.

Рисунок 1. Специальный автотранспорт филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК

Подготовка и погрузка контейнеров производится силами предприятия сдающего РАО в присутствии представителя филиала ИАЭ.

Маршруты, по которым осуществляется транспортирование РАО спецавтомобилями предприятия, согласовываются с соответствующим отделом МВД РК.

По прибытию спецавтомобиля на КИР «Байкал-1» транспортные контейнеры выгружаются в хранилище РАО, либо сразу в радиационно-защитную камеру (РЗК).

В радиационно-защитной камере источники идентифицируются и перегружаются в специальный чехол, в котором впоследствии и хранятся. Чехол, при его заполнении, может многократно перемещаться из РЗК в промежуточное хранилище и обратно (рисунок 2).

Рисунок 2. Радиационно-защитная камера

Транспортирование чехлов в промежуточное хранилище проводится в специальном защитном контейнере (вес = 23 тонн) с дистанционно-управляемым захватом.

Работа в радиационно-защитной камере (РЗК) производится без прямого контакта с источниками. Перегрузка производится при помощи манипуляторов с визуальным контролем через защитное свинцовое стекло. При работе используются специальные оптические устройства, позволяющие вести визуальный контроль за всеми этапами операции. Защита камеры позволяет на рабочем месте оператора снижать ионизирующее излучение до уровней, установленные требованиями гигиенических нормативов и санитарными правилами.

Специальные чехлы с ИИИ располагаются в специальной ячейке с защитной пробкой в промежуточном хранилище РАО.

Промежуточное хранилище РАО имеет 52 ячейки закрытые защитными пробками. Для загрузки чехла с отработавшими ИИИ, чехол извлекается из хранилища, транспортируется в РЗК. В РЗК чехол загружается отработавшими ИИИ, после чего транспортируется в заданную ячейку хранилища с помощью защитного контейнера для чехлов.

Промежуточное хранилище РАО имеет мощную защитную плиту, которая вместе с пробками позволяет снижать уровень радиационного фона до нормативных значений. Выброс радиоактивных веществ и доступ к чехлам посторонних лиц исключены. Пробка может быть снята только специальным захватом при помощи козлового крана. Промежуточное хранилище РАО оснащено охранной сигнализацией и вскрывается только персоналом имеющим допуск.

Долговременное хранилище РАО предназначено для длительного хранения твердых радиоактивных отходов и источников ионизирующего излучения с истекшим сроком эксплуатации (рисунок 3).

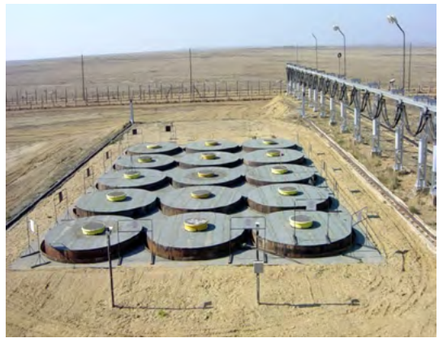


Рисунок 3. Хранилище РАО

Емкость сооружения составляет 2 714 м^3. Технические характеристики хранилища приведены выше.

Хранилище РАО представляет собой отдельное заглубленное, обвалованное землей, монолитное, железобетонное сооружение, расположенное под крановыми путями козлового крана КИР «Байкал-1».

Сооружение выполнено из монолитного железобетона марки 200 на сульфатостойком портландцементе.

Хранилище РАО состоит из отдельных ячеек с загрузочными люками для загрузки радиоактивных отходов. Люки закрываются бетонными блоками в металлических кожухах весом 41 тонна каждый, что является одним из существенных барьеров физической защиты хранилища РАО.

Открыть и закрыть ячейку можно только при помощи козлового крана с использованием специального захвата. Конструктивно ячейки выполнены таким образом, что исключа-

ется возможность проникновения радиоактивных веществ в грунт, а также невозможно попадание грунтовых и ливневых вод в хранилище.

Хранилище РАО имеет бетонное основание, расположенное на расстоянии 7,3 м от уровня подземных вод. Все бетонные поверхности хранилища, соприкасающиеся с грунтом, гидроизолированы.

Регулярно проводится дозиметрический контроль территории хранилища с помощью стационарных и переносных дозиметрических приборов. Конструкция и расположение ячеек хранилища РАО гарантирует сохранность контейнеров с радиоактивными отходами и ИИИ, исключает выход радиоактивных веществ на поверхность или случайный доступ к ним.

Территория комплекса исследовательских реакторов «Байкал-1», на которой расположено долговременное хранилище РАО и все другие сооружения и здания, обнесена ограждением и круглосуточно охраняется подразделением внутренних войск РК. Ограждение оснащено охранной сигнализацией и освещением. Все помещения и сооружения, где по технологической схеме находятся РАО, оснащены охранной сигнализацией.

На всех этапах технологического процесса осуществляется мероприятия по обеспечению радиационной безопасности персонала. Сотрудниками отдела радиационной безопасности проводится постоянный контроль территории и помещений КИР «Байкал-1». Персонал комплекса обеспечен специальными средствами защиты, индивидуальными дозиметрами, регулярно проходит медицинское освидетельствование. Все места работы, промежуточного и долговременного хранения РАО имеют санитарные паспорта и оборудованы так, чтобы не допустить распространения радиоактивного загрязнения, а также снизить уровни излучения до допустимых пределов. Хранилища удалены на достаточное расстояние от основных рабочих мест, зон проживания персонала комплекса.

С 2010 по 2014 годы филиалом Институтом атомной энергии проведена работа по радиационному обследованию, выгрузке, транспортированию и размещению РАО с бывшего Иртышского химико-металлургического завода, расположенного в поселке Первомайский, Восточно-Казахстанской области. В результате проведенных работ на КИР «Байкал-1» были транспортированы и размещены на долговременное хранение 1 500 транспортных упаковочных комплекта (ТУК) и 1 573 металлические бочки с ТРО, общим весом 1 412 000 кг. Для их хранения на КИР «Байкал-1» был введен в эксплуатацию объект «Площадка хранения контейнеров с РАО бывшего Иртышского химико-металлургического завода», состоящий из двух металлических сооружений ангарного типа.

В 2013 году на КИР «Байкал-1» проведены работы по размещению на ответственное хранение 24 штук высокоактивных ИИИ (1 450 Ки каждый) с изотопом Cs-137 из установки «Плод-СМ» филиала РГП «Национальный центр биотехнологии» РК, г. Степногорск.

В 2014 году Институтом атомной энергии проведена работа по приему, транспортированию и размещению на долговременное хранение загрязненного грунта в рамках проекта «Усиление безопасности участков площадки «Опытное поле» бывшего Семипалатинского испытательного полигона». Извлеченный загрязненный грунт был переведен после переработки в грунтобетон и размещен в 346 специальных контейнерах, общим весом 194 385 кг.

В 2016 году в рамках проекта «Усиление безопасности участков площадки «Опытное поле» бывшего Семипалатинского испытательного полигона» проведена работа по приему, транспортированию и размещению на долговременное хранение загрязненного грунта в 124 специальных контейнерах, общим весом 70 018 кг.

В настоящее время в филиале ИАЭ РГП НЯЦ РК хранятся в хранилище КИР «Байкал-1» источники ионизирующего излучения в крупногабаритных изделиях и установках «КОЛОС», «СТЕБЕЛЬ», «МРХ», «РХМ», «СТЕРИАЛИЗАТОР» и т.д. Значительные габариты и большой вес этих изделий не позволяют извлечь из них источники ионизирующего излучения (ИИИ) с использованием имеющихся в филиале ИАЭ РГП НЯЦ РК технологий и оборудования. Так, действующая радиационно-защитная камера (РЗК) не может быть использована при разборке крупногабаритных установок из-за ограниченных размеров как самой РЗК, так и загрузочных технологических проемов.

Проводить работы по разделке установок и извлечению ИИИ вне РЗК не представляется возможным по требованиям техники безопасности, что обусловлено высокой активностью ИИИ и опасностью выхода высокорадиоактивных материалов во внешнюю среду при возможной случайной разгерметизации ИИИ в процессе разделки.

Рассмотрен ряд вариантов решения проблемы касаемо крупногабаритных изделий.

В 2017 году подписаны договора на работы по:
- — извлечению ИИИ из части крупногабаритных изделий непосредственно на КИР «Байкал-1» совместно с представителями ТОО «ИзотопСнабСервис» г. Алматы;
- — транспортировке оставшиеся части изделий на ТОО «МАЭК-Казатомпром» г. Актау;
- — извлечению ИИИ из изделий на ТОО «МАЭК-Казатомпром»;
- — переупаковке ИИИ в сертифицированные транспортные контейнера на ТОО «МАЭК-Казатомпром»;
- — транспортировке сертифицированных транспортных контейнеров на КИР «Байкал-1»;
- — извлечению ИИИ из сертифицированных транспортных контейнеров в РЗК КИР «Байкал-1»;
- — размещению ИИИ на долговременное хранение в хранилище КИР «Байкал-1».

На сегодняшний день в хранилищах РАО КИР «Байкал-1» на долговременном хранении находятся более 51 600 ИИИ с истекшим сроком эксплуатации всех видов излучений, в том числе, высокоактивные онкологические кобальтовые источники, более 2 700 000 кг твердых радиоактивных отходов, с остаточной суммарной активностью более 53 559 Ки.

СТРАТЕГИЯ, НАУКА, ИННОВАЦИИ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ

Косунов А.О., Горкун В.И.
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Ключевая роль в развитии атомной индустрии Казахстана отведена АО «НАК «Казатомпром». За 20 лет существования и участия в глобальном процессе энергообеспечения мировой экономики АО «НАК «Казатомпром» заняло лидерскую позицию на мировом рынке урана.

Важное место в Стратегии развития АО «НАК «Казатомпром» по обеспечению его устойчивой конкурентоспособности на мировом рынке и сохранению мировых лидерских позиций занимает наука и инновации.

Вклад новых научных разработок в сокращение себестоимости добычи природного урана и его переработки до готовой продукции является одним из главных мероприятий в решении вопроса повышения эффективности производства, определенного в Плане мероприятий на 2015-2017 гг. по реализации Стратегии АО «НАК «Казатомпром» на 2015-2025гг., и включающего следующие направления работ:
- внедрение методов активного закисления и ускоренной отработки месторождений ПВ урана для снижения расхода серной кислоты на 20-30%;
- разработка и внедрение новых эффективных методов проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР) геотехнологических скважин;
- интенсификация технологических процессов производства готовой продукции уранодобывающих предприятий для снижения расхода химических реагентов на 20-30%;
- вовлечение в переработку мелких месторождений и локальных залежей путем создания линейки мобильных комплексов;
- создание системы корпоративного контроля, учета и мониторинга движения отходов на всех стадиях обращения с отходами (сбор, транспортировка, переработка, обезвреживание, использование, размещение);
- разработка научно-обоснованных нормативов образования отходов на единицу продукции, регламентирующих количественный и качественный состав отходов. Методика нормативов образования отходов.

АО «НАК «Казатомпром» по вышеперечисленным работам ответственным исполнителем определил Оператора Научного центра по развитию приоритетного направления «Добыча, переработка продуктивных растворов, получение ЗОУ, попутное извлечение РЗМ» - Институт высоких технологий, который, используя мировой опыт, знания в атомной и смежных отраслях промышленности, а также ресурсы уранодобывающих предприятий, представляет основу инфраструктуры инновационного развития отрасли и выполняет в комплексе следующие работы:
- — постановка и организация научно-исследовательских работ (НИР) с целью разработки новых технологий и технических решений, превосходящих существующие по экономическим показателям и культуре производства;
- — организация опытно-конструкторских работ (ОКР) на основе результатов НИР с целью испытания опытных образцов новой техники и распространения их в отрасли;
- — организация проектно-конструкторских работ (ПКР) с использованием собственных достижений в области НИР, ОКР и достижений мирового уровня;

— оказание научно-технических, инжиниринговых и консалтинговых услуг по разработке нормативно-технической документации, обеспечению научно-технической информацией, защите интеллектуальной собственности, совершенствованию подготовки высококвалифицированного персонала.

Институт успешно справляется с достижением стратегических целей и задач, определенных в Программе развития ТОО «ИВТ» на 2016-2025 годы, по обеспечению инновационного развития отрасли и сопровождению наукоемких производственных циклов урановой промышленности Казахстана на достаточно высоком научно-технологическом уровне:

1. Разработаны новые и усовершенствованы существующие технологии и оборудование, позволяющие сократить себестоимость добычи природного урана и повысить эффективность производства, основными из которых являются:

• автоматизированная система сопровождения сооружения и эксплуатации скважин (АССС), которая прошла тестирование в Филиале АО «Волковгеология» «ГРЭ-23» и готова к внедрению;

• программный комплекс 3-х мерного моделирования процессов на различных стадиях добычи, освоения, эксплуатации геотехнологического полигона (ГТП) подземного выщелачивания (ПВ) урана с учетом геолого-минералогических свойств отрабатываемых месторождений с целью оптимизации и совершенствования управления технологическими параметрами, включая интеграцию разработанного модуля с системой «Рудник».

Эффективные методы с использованием химических и механических воздействий предотвращения различных видов кольматации при ПВ урана и проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР). Разработана и внедрена в производство передвижная установка для проведения химической обработки непосредственно фильтровой части технологических скважин.

• эффективные технологии по переработке продуктивных растворов, прошедших опытно-промышленную апробацию и готовых к полупромышленным испытаниям с внедрением в производство:

— технология ультразвукового воздействия на десорбцию урана;

— технология осаждения мелких кристаллов пероксида урана с использованием специальных реагентов-осадителей.

• перспективная технология по применению нанофильтрации для удаления избыточной кислотности из технологических растворов с одновременной концентрацией металлов в них;

• разработан и введен в действие Приказом АО «НАК «Казатомпром» №108 от 26.05.2017 г. Стандарт СТ НАК 20-2017 «Требования к ионообменным смолам для предприятий АО «НАК «Казатомпром».

2. Реализованы два инновационных проекта:

1) Разработан и создан мобильный комплекс для извлечения урана из продуктивных растворов, предназначенный для отработки небольших геологических залежей, находящихся на большом удалении от перерабатывающей установки и требующих больших финансовых затрат на прокладку магистральных трубопроводов и монтаж подкачивающего насосного оборудования.

Мобильный комплекс включает в себя следующие технологические операции: подготовку и подачу на полигон выщелачивающих растворов; откачку и сбор продуктивных растворов; сорбцию урана в сорбционных колоннах напорного типа; сбор и хранение свежей и насыщенной смолы; хранение и дозировку серной кислоты.

Готовой продукцией Мобильного комплекса является насыщенная ураном смола. Режим работы установки сезонный, круглосуточный. Производительность установки по продуктивным растворам составляет 100 м^3/час. Для удобства монтажа и транспортировки все технологическое оборудование и опорная рама выполнены в разборном варианте. Дизель генераторы, лаборатория, пункт самопомощи, диспетчерская, вспомогательное оборудование и бытовые помещения размещены в перевозимых контейнерах.

Преимуществами Мобильного комплекса являются: возможность монтажа и демонтажа элементов установки для ее передислокации; использование малогабаритного технологического оборудования; минимальный состав реагентов, необходимых для осуществления технологического процесса насыщения смолы ураном; максимально упрощенная технологическая схема.

В настоящее время Филиал «Степное РУ» ТОО «Казатомпром-Sauran» осуществляют эксплуатацию Мобильного комплекса, результаты работы которого подтверждают заложенные в проекте высокие технологические показатели. Мобильный комплекс защищен тремя патентами на изобретения: Патент на полезную модель №1433; Инновационные патенты на изобретения №30105, 31746.

АО «НАК «Казатомпром» приступил к строительству Мобильного комплекса для проведения опытной добычи урана на месторождении «Жалпак», рабочий проект для которого разработал Институт, осуществляющий также авторский надзор за его строительством. Производительность строящегося Мобильного комплекса составляет 250 м^3/час, площадь в границах ограждения – 16 554,7 м^2, а застройки – 3 345,94 м^2.

2) Для развития аналитического сервиса в АО «НАК «Казатомпром в структуре Филиала «ИВТ-Зерде» ТОО «ИВТ» создана Лаборатория исследования и анализа материалов (ЛИАМ) на территории пос. Таукент Сузакского района ЮКО в здании №75 ТОО «ТГХП».

Основное назначение ЛИАМ - аналитическое сопровождение и совершенствование технологии добычи, переработки природного урана, НИОКР в области геологоразведки, добычи и переработки урана, РМ, РЗМ и их попутного извлечения.

Проведена реконструкция и оборудованы лабораторные и вспомогательные помещения в соответствие с существующими требованиями.

Приобретено и установлено современное аналитическое оборудование по всем правилам пуско-наладочных работ, основное из которых предназначено:

- для аналитического сопровождения технологических процессов добычи урана, попутного извлечения РМ и РЗМ, переработки продуктивных растворов, получения ХКПУ, ЗОУ, в том числе, для проведения элементного анализа (технологических растворов, керна, отходов и др.):
  - — масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой iCAP-Q Thermo Scientific (предназначен также для проведения изотопного анализа);
  - — атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой iCAP-7400DUO Thermo Scientific;
  - — атомно-абсорбционный спектрометр iCE 3300, Thermo Scientific;
  - — энергодисперсионный рентгеновский спектрометр Clever C-31;
  - — спектрофотометр Cary 60 Agilent Technologies.
- для исследования новых перспективных (конструкционных, инструментальных и т.д.) материалов:
  - — рентгеновская аналитическая система CompleXRay FUSION U6;
  - — синхронный термоанализатор LABSYS EVO (TG-DTA/DSC Setaram;
  - — сканирующий электронный микроскоп MIRA 3 LMH TESCAN;
  - — микроскоп поляризационный BX-51, OLYMPUS.

- для измерения энергий испускаемых радионуклидами квантов рентгеновского, гамма, альфа – излучений и их активности в пробах и объектах:
  - — альфа-спектрометр лабораторный 2-х входной Alpha Analyst, Canberra;
  - — гамма-спектрометр GC/ DSA -1000 Canberra.

Лабораторию оснастили химической посудой, необходимыми химическими реагентами, методическими и нормативными документами.

Проведена поверка средств измерений, аттестация испытательного оборудования и рабочих мест по условиям труда персонала ЛИАМ. Обучен персонал лаборатории для квалифицированного обслуживания современного аналитического оборудования.

Определен объем услуг для ЛИАМ:

- проведение исследований радиационной, радиационно-экологической и экологической безопасности;
- проведение испытаний основных химреагентов и материалов на соответствие по качеству и комплектности установленным требованиям;
- выполнение производственного экологического контроля и минимизация воздействия на окружающую среду (ОС);
- анализ содержания РМ и РЗМ в технологических растворах и отработка технологий их попутного извлечения;
- организация межлабораторных сравнительных испытаний (МЛСИ) в соответствии с требованиями СТ РК.

ЛИАМ прошла аккредитацию испытательной лаборатории в соответствие с республиканскими и международными стандартами в ТОО «Национальный центр аккредитации», что означает:

- фактическое подтверждение профессиональной компетенции при оценке соответствия (включая сферу технического регулирования);
- обеспечение должного уровня доверия заказчика результатам исследований;
- применимость полученных результатов для деятельности госорганов и других субъектов гражданского права в качестве достоверной информации об исследуемых объектах;
- использование единого стандарта измерений для аналитической работы.

3. На площадке Филиала «Степное РУ» ТОО «Казатомпром-Sauran» рудника «Уванас» Институтом создан опытно-технологический полигон (ОТП) для обеспечения полупромышленных испытаний новых материалов, инновационных технологий, аппаратов и оборудования с целью интенсификации технологических процессов, повышения качества товарной продукции, получения сопутствующих редких и редкоземельных металлов и снижения производственной себестоимости на предприятиях АО «НАК «Казатомпром». На базе ОТП ис-

пытана разработанная технология по попутному извлечению редких и редкоземельных металлов с получением перрената аммония.

4. Научно-технологическое и инновационное развитие АО «НАК «Казатомпром» Институт регулярно обеспечивает выполнением работ по:

- управлению интеллектуальной собственностью, организацией и развитием рационализаторской и изобретательской деятельности на предприятиях АО «НАК «Казатомпром»;
- обеспечению научно-технической информацией научно-производственную деятельность предприятий АО «НАК «Казатомпром» в рамках развития компьютерной системы «База знаний»;
- разработке нормативной документации (стандартов, инструкций, методик);
- оказанию образовательных услуг.

Образовательные услуги успешно оказывает Филиал ТОО «ИВТ» «Казахстанский ядерный университет». Наряду с реализацией программ по обучению работников горнорудных предприятий, в том числе: по вопросам промышленной безопасности, охраны труда, радиационной безопасности, разработана компьютерная обучающая система «Сорбция урана на колоннах СНК-3М» – пилотный проект по внедрению инновационных образовательных методик на основе виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR), включающий Модули:

- интерактивный электронный курс по изучению теоретических основ ионообменных процессов и сорбции урана на колоннах СНК-3М;
- 3D-тренажеры с применением технологий VR и AR для процессов на сорбционной колонне СНК-3М в ЦППР по:
  — изучению устройства колонны и технологии сорбции урана;
  — проведению процесса перегрузки смолы в ручном режиме;
  — проведению процесса сорбции урана.

5. Доля добычи урана рудниками, построенными по проектам Института, составляет 58%. Проектно-конструкторским отделом Института выполнены проекты рудников АО «НАК «Казатомпром» с производительностью 1 000 и 2 000 т/год таких как: ПВ-19, Акдала, Заречное, Южный Моинкум, Центральный Мынкудук, Южный Инкай, Харасан-1, Семизбай-U, Буденовское.

Производственная деятельность Проектно-конструкторского отдела Института в настоящее время сосредоточена на модернизации и реконструкции действующих горнорудных предприятий АО «НАК «Казатомпром» и осуществляется в соответствии с имеющимися на то разрешающими лицензиями.

Для реализации Программы развития ТОО «ИВТ» на 2016-2025 годы и достижения высоких показателей по ключевым аспектам производственной и научно-технической деятельности Институт стремится к наращиванию научного, кадрового, материально-технического, социального потенциала и внесению существенного вклада в инновационное развитие отрасли в целом.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ КАК ИНСТРУМЕНТ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Смайлов Е.К., Панова Е.Н.,
Борисенко В.А., Жомартов Д.С.
ТОО «СП «Хорасан-U», Кызылорда, Казахстан
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Модернизация предприятий невозможна без совершенствования технологического оборудования и внедрения современных технологических процессов. И роль технологического аудита в этом вопросе первостепенна. По сути, технологический аудит производства – это ревизия производственно-технологического комплекса компании, оценка его потенциала. Он направлен, в первую очередь, на оценку операционной эффективности предприятия, которая представляет собой соотношение между достигнутыми показателями и затраченными ресурсами.

Вопросам технологического аудита и его классификации посвящено множество работ. Исследование видов промышленного аудита, в том числе технологического, нашло отражение в работах таких авторов как Белозеров А.Е.[1], Никифорова Е.В., Бердникова Л.Ф., Шумилова И.В.[2-3], Пильнов Г., Тарасова О., Яновский А.[4], Платонов М.Ю.[5], Шулус А.А.[6], Ярочкин В.И., Бузанова Я.В.[7] и др.

Технологический аудит предприятия представляет собой алгоритм этапов (рисунок 1), включающий в себя последовательность шагов для оценки эффективности технологических процессов. Такую оценку разработчики создаваемой технологической инновации могут провести самостоятельно либо с привлечением сторонних экспертов. Основными параметрами для анализа эффективности технологических процессов являются:

— ресурсопотребление (сырье, вспомогательные ресурсы (вода, пар, газы и т.д.)) на единицу продукции;
— энергоемкость, энергоэффективность;
— трудоемкость (количество и качество подготовки персонала по видам, уровень автоматизация, доля затрат на оплату труда и т.д.);
— экологические параметры (выбросы в воздух, жидкие, твердые отходы) на единицу продукции;
— экономические показатели (производительность, структура затрат на производство продукции, достаточность и эффективность затрат на ремонт и модернизацию оборудования);
— безопасность производства (уровень травматизма, аварий, размеры ущерба);
— качество продукции (соответствие стандартам в сравнении, количество и объем рекламаций);
— информатизация производственных процессов;
— обеспеченность техрегламентами, достаточность испытательных лабораторий для выпуска продукции в соответствии с регламентами целевых рынков;
— жизнеспособность продукции и технологии на целевых рынках (сравнение продукции и технологии с направлениями перспективных исследований, предполагающих из замену или значительную модернизацию);
— уровень внедрения и эффективность систем управления качеством (ISO) и эффективностью производства (6Sigma, Lean, Kaizen и др.).

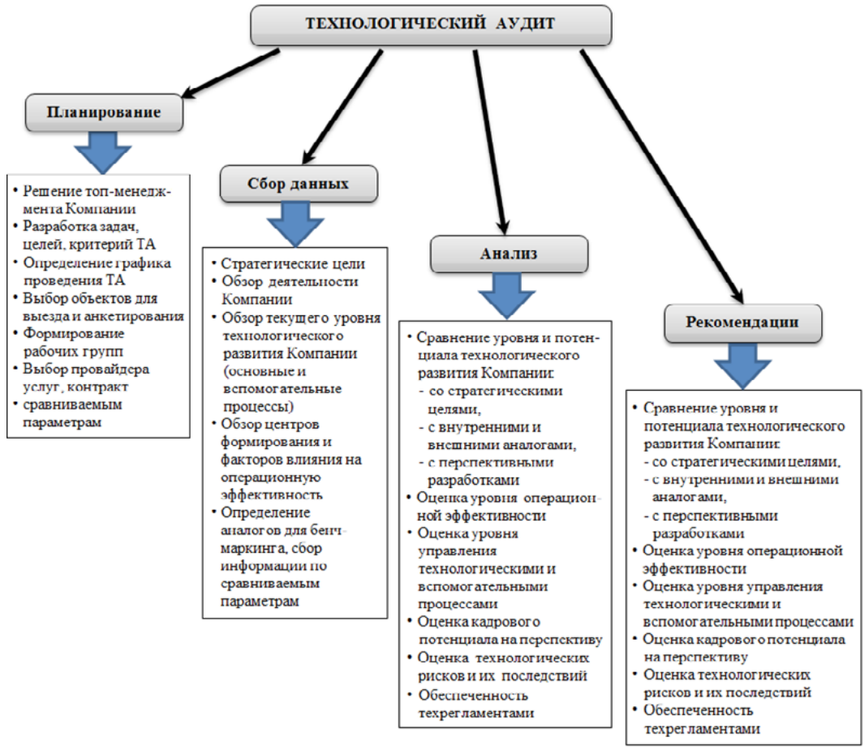


Рисунок 1. Этапы работ по технологическому аудиту уранодобывающих предприятий

В ходе проведения технологического анализа аудитор составляет технический отчет, в котором отражает выводы о полноте и качестве исходно-разрешительной, предпроектной, проектной, эксплуатационной, технической и технологической документации, технического состояния оборудования и производства. По результатам технологического анализа производится разработка направлений новой политики технического развития и технического перевооружения предприятия, а также план мероприятий по её реализации.

В настоящее время потребность в услугах аудита растет для многих предприятий, в том числе и для уранодобывающих. Целью проведения технологического аудита является оценка текущего состояния действующего уранодобывающего производства, выработка рекомендаций по повышению операционной эффективности предприятия.

Основное назначение технологического аудита сводится к получению и интерпретации данных, полученных за истекший период промышленной эксплуатации месторождения. Научно-технический анализ опытно-промышленных работ является значимой частью в общем комплексе проектных решений предприятий подземного выщелачивания и необходим для оперативного решения технических и технологических проблем при будущей эксплуатации месторождения.

Задачами проведения технологического аудита являются анализ и обобщение результатов геологоразведочных, горно-подготовительных, технологических работ и разработка на этой основе рекомендаций, программ на планируемый период (определение оптимальных условий отработки участков, план дальнейшего изучения месторождения, предложения по оптимизации технологических параметров перерабатывающего комплекса, совершенствованию аналитического контроля процесса).

При этом необходимо провести анализ следующей исходной информации:
— технологические регламенты;
— сведения о планах, политике, стратегии в области модернизации действующего производства;
— сведения о рационализаторской деятельности (тематические планы, количество поданных предложений, сведения о внедрении, экономическом эффекте);
— сведения о деятельности в области НИОКР: отчеты о выполненных НИОКР (тема, объем финансирования, исполнитель, основные результаты, эффективность, сведения о внедрении);
— основные производственные и финансово-экономические показатели за последние 3 года, данные о структуре себестоимости и др.;
— проект на отработку залежи или участка работ;
— данные по прогнозированию работы технологических блоков;
— данные по наблюдательным (внутриконтурным и приконтурным скважинам: химические анализы, уровни и т.д.);
— фактические удельные нормы расхода химических реагентов на добычу и переработку;
— данные по обращению с отходами производства и потребления;
— регламенты/положения проведения химических анализов по сопровождению технологического процесса (виды и периодичность выполняемых анализов); используемое аналитическое оборудование, методики выполнения измерений.

Результатом проведенного технологического аудита должны являться:
— выявление и анализ причин по нештатной работе технологических блоков, рекомендации по регламенту закисления и по поддержанию баланса растворов в ячейках/блоках;
— расчет материального баланса движения урана и химических реагентов в цикле наземной переработки урансодержащих растворов, рекомендации по оптимизации технологического процесса переработки, при различном содержании урана в продуктивном растворе;
— рекомендации по повышению эффективности работы аналитической лаборатории (возможность оптимизации точек отбора проб, периодичности, внедрения экспресс-методик, др.);
— рекомендации по повышению операционной эффективности (карты технологического развития, мероприятия для повышения операционной эффективности, рекомендации по модернизации производств за счет реализации проектов НИОКР и/или трансфера технологий);
— значения ключевых показателей эффективности инновационной деятельности предприятия.

ВЫВОДЫ

Результаты выполнения проекта будут использованы для совершенствования процесса добычи и переработки урана в период промышленной эксплуатации месторождения,

позволят выявить особенности геологического строения технологических блоков, выбрать наиболее оптимальный режим отработки, определить направления повышения эффективности работы перерабатывающего комплекса и аналитической лаборатории.

Результаты технологического аудита будут использованы для планирования работ по стратегическому, инновационному, технологическому развитию, повышению операционной эффективности предприятия. Результаты технологического аудита могут быть использованы при разработке планов НИОКР, инвестиционных проектов, мероприятий по технологическому развитию, ресурсо- и энергоэффективности, развитию персонала и другим направлениям деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Белозеров А.Е.*** Аудит инновационных мероприятий хозяйствующего субъекта // Аудиторские ведомости. 1999. №12. Режим доступа: http://www.buhi.ru/text/96097-3.html.
2. ***Исмаилов Т.А., Гамидов Г.С.*** Инновационная экономика – стратегическое направление развития России в XXI веке // Инновации. 2003. № 1. с. 43-53.
3. ***Никифорова Е.В., Бердникова Л.Ф., Вокина Е.Б., Шумилова И.В.*** Аудит крупных производственно-коммерческих организаций: методология, теория и практика: монография / Е.В. Никифорова, Л.Ф. Бердникова, Е.Б. Вокина, И.В. Шумилова. Тольятти: ТГУ, 2011. 154 с.
4. ***Пильнов Г., Тарасова О., Яновский А.*** Как проводить технологический аудит: Практическое пособие. Проект Europeaid «Наука и коммерциализация технологий». 2006. 96 с.
5. ***Платонов М.Ю.*** Инновационный аудит как элемент управления организацией. // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. 2010. №5. с. 146-149.
6. ***Шулус А.А.*** Социальный аудит: Учеб. пособие / А.А. Шулус, Ю.Н. Попов. М.: Издательский дом «АТиСО», 2008. 769 с.
7. ***Ярочкин В.И., Бузанова Я.В.*** Аудит безопасности фирмы: теория и практика: учеб. пособие / В.И. Ярочкин, Я.В. Бузанова. М: Академический Проект, Королев: Парадигма, 2005. 352 с.

ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Елеушов Б.С., Панова Е.Н., Беремжанов Р.Б., Блынский П.А.
АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

В связи с активной производственной деятельностью АО «НАК «Казатомпром», несмотря на проводимые работы по утилизации, продолжается наработка новых, значительных по объему, отходов производства, включая радиоактивные.

Из общего количества утилизируется не более 1% отходов, остальное количество накапливается или захоранивается.

Общепринятая иерархия обращения с отходами представлена на рисунке 1.

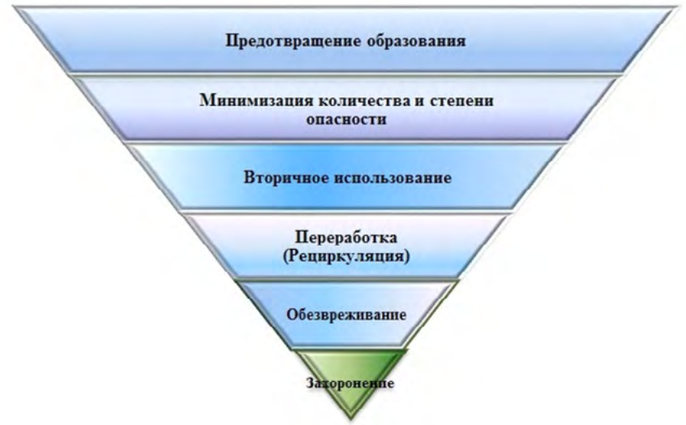


Рисунок 1. Иерархия способов управления отходами

В соответствии с таким подходом, наиболее предпочтительным является предотвращение образования отходов или минимизация количества и степени опасности у источника. Таким образом, реализуется важнейший методологический принцип максимального предотвращения возможных негативных последствий окружающей среде, населению и работникам предприятия. С экономической точки зрения данный подход проявляется в экономии затрат на предупреждение потенциальных негативных последствий деятельности предприятия в виде выбросов, сбросов, отходов.

Рассматривая эти направления деятельности, предприятиям АО «НАК «Казатомпром» необходимо проводить планомерную работу по улучшению системы управления отходами. Актуальным является выполнение работ, направленных на минимизацию и сокращение образования отходов, их вовлечение в повторный оборот и переработку.

Концепция по переходу Республики Казахстан к зеленой экономике, утвержденная Указом Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года №577, предлагает выстроить комплексную систему управления отходами, формирование которой должно быть реализовано с использованием следующих подходов:

- создание согласованной системы утилизации отходов с предоставлением полного спектра услуг и всесторонней охраной ландшафтов;
- сокращение числа полигонов с переходом к широкому применению переработки и вторичного использования, а также извлечения полезных веществ и материалов, получения топлива за счет утилизации отходов;
- развитие экономики замкнутого цикла с многооборотным использованием продукции, как в рамках, так и вне цепочки создания стоимости;
- улучшение экологической ситуации и снижение техногенного влияния на окружающую среду.

Разработан и утвержден план мероприятий по комплексному подходу создания системы управления отходами в АО «НАК Казатомпром» на 2016-2020 годы в рамках развития «зеленой экономики», который включает в себя три направления:
- нормативно-техническое и организационное обеспечение;
- меры по повышению уровня безопасности при обращении с отходами на производстве;
- проекты по снижению уровня опасности отходов и их минимизации.

В соответствии с данным планом мероприятий разработан корпоративный Стандарт «Правила обращения с отходами производства и потребления на предприятиях АО «НАК «Казатомпром» (утвержден приказом №74 от 24.04.2017 г.). Целью разработки указанного Стандарта являлось установление единого подхода к управлению отходами, минимизации их количества, вторичному использованию и переработке в системе АО «НАК «Казатомпром». Стандарт содержит требования к обращению с отходами в соответствие с этапами технологического цикла отходов, а именно:
- образование отходов;
- сбор и накопление отходов;
- сортировка и обезвреживание отходов;
- упаковка;
- транспортировка;
- временное хранение;
- удаление и захоронение отходов;
- требования по минимизации образования отходов и рекомендации по вторичному использованию отходов.

В производственной деятельности предприятий Общества должны быть реализованы пути минимизации образования отходов. Предприятия обязаны планировать и осуществлять мероприятия по уменьшению количества производимых отходов и увеличению доли отходов, которые могут быть использованы как вторичное сырье.

Предприятиям, в частности, даны следующие рекомендации:

а) строго соблюдать технологические регламенты работы производственных установок и технические регламенты по обслуживанию автотранспорта, строительной техники, приборов освещения;

б) приобретать только те материалы и продукты, которые действительно необходимы, по возможности россыпью без упаковки (тары) или в многооборотной возвратной таре, и использовать материалы без остатка;

в) закупать материалы в таких количествах, которые реально используются на протяжении определенного промежутка времени, в течение которого они не будут переведены в разряд отходов, что приведет к минимизации объемов образования таких отходов, как химические реагенты с истекшим сроком годности, пищевые отходы;

г) использовать оборудование и материалы с длительным сроком эксплуатации, при организации закупок предусматривать требования к сроку службы;

д) принимать меры для сведения к минимуму порчи материальных запасов (использование правила «первым пришло – первым уйдет»);

е) принимать меры предосторожности и проводить ежедневные профилактические осмотры оборудования и техники для исключения утечек и проливов жидкого сырья, химических реагентов и топлива;

ж) применять оборудование для измельчения и прессования отходов, в частности, дробилки для пластика, пластиковых бутылок, прессовальное оборудование для изделий из бумаги, картона, металла, пластика;

и) внедрять систему раздельного сбора отходов и перевода части отходов во вторичное сырье, что приведет к минимизации объемов образования таких отходов, как твердые бытовые отходы, строительные отходы;

к) осуществлять замену ртутьсодержащих ламп на светодиодные;

л) осуществлять замену металлических труб на полимерные трубы;

м) организовать возврат пластиковых бутылок из-под питьевой воды поставщикам, а также уменьшить использование одноразовой пластиковой и бумажной посуды;

н) проводить работы по разделению жидкой и твердой фракций буровых шламов на виброситах и отстойниках. Жидкая фракция после проведения радиоэкологического контроля подлежит повторному использованию для приготовления буровых растворов;

п) утилизировать буровые шламы. Предприятия обязаны провести инвентаризацию полигонов буровых шламов на содержание полезных веществ и технико-экономические изыскания для определения экономической целесообразности их переработки (Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике»). Предприятия обязаны провести детальное изучение минералогического, химического состава буровых шламов с целью дальнейшего его использования в качестве вторичного сырья для рекультивации горных выработок (карьеров), обваловки или отсыпки автомобильных дорог без твердого покрытия;

р) проводить полную нейтрализацию закисленного грунта с целью его повторного использования при отсыпке автомобильных дорог без твердого покрытия.

В 2017-2018 гг. должен быть реализован проект по созданию электронной системы корпоративного контроля, учета и мониторинга движения отходов на всех стадиях обращения (далее ЭС КУО).

Создание ЭС КУО позволит иметь оперативную информацию по обращению с отходами, обеспечит возможность постоянного мониторинга и контроля.

ЭС КУО будет обеспечивать такие основные принципы, как сохранность, согласованность, доступность, защищенность информации.

Целями реализации ЭС КУО являются:
- усиление эффективности учета. Ведение всей деятельности по обращения с отходами в одной информационной системе. Систематизация и хранение исходных данных с возможностью дальнейшего анализа;
- снижение рисков штрафов от контролирующих органов. Ведение учета отходов по

единым принципам, регламентированным законодательно и заложенным в системе, позволят снизить риски штрафов от контролирующих органов;

- уменьшение количества ошибок в рамках ведения первичного учета. Создание механизмов автоматического заполнения отдельных разделов документов, на основе существующих справочных данных, а также автоматизация расчетов позволяет сократить перечень ошибок в рамках ведения учета отходов;
- сокращение времени на формирование отчетности. Автоматизация формирования всех необходимых видов отчетов (корпоративных, статистических, аналитических) по данным ведения первичного учета влечёт сокращение времени на обработку первичной информации;
- усиление прозрачности учета отходов для руководителей всех уровней. Систематизация и хранение исходных данных, а также набор аналитической отчетности, позволяет проводить более глубокий и оперативный анализ данных учета отходов, для контроля и принятия конструктивных решений в области экологии на предприятии;
- эффективное управление предприятием в сфере экологии. Возможности отслеживания и анализа динамики развития предприятия в природоохранной сфере способствуют принятию верных решений и эффективному управлению предприятием;
- эффективность прогнозирования затрат в природоохранной области для использования в бюджетировании;
- сокращение трудозатрат сотрудников. Автоматизация работы экологов на предприятии.

Внедрение ЭС КУО должно способствовать оптимизации затрат и сроков реализации проектов по обращению с отходами на предприятиях АО «НАК Казатомпром». Это позволит:

— уменьшить экологические платежи за счет оперативного контроля над превышением лимита на выбросы и размещение отходов на всех предприятиях и в каждом структурном подразделении;
— избежать штрафов за экологический ущерб и эффективно управлять дальнейшим планированием;
— провести оптимизацию человеческих ресурсов и сбалансировать штат ответственных за природоохранную деятельность;
— провести оценку эффективности природоохранных мероприятий;
— увеличить скорость принятия и правильность решений по закупкам, предотвращая и защищая предприятие от наращивания неликвидного материала;
— повысить ответственность и осведомленность в области обеспечения экологической безопасности на всех уровнях;
— сократить объемы накопленных экологических ущербов и снизить негативное воздействие на окружающую среду, благодаря повышению качества планирования природоохранных мероприятий, за счёт более глубокого анализа информации;
— снизить имиджевые риски АО НАК «Казатомпром» за счет возможности более детального мониторинга и контроля деятельности предприятий Общества в сфере охраны окружающей среды.

Выполняются работы по разработке и внедрению научно-обоснованных нормативов образования отходов на единицу продукции и регламентированию количественного и качественного состава отходов на предприятиях АО «НАК «Казатомпром».

При разработке удельных норм образования отходов производства и потребления, радиоактивных отходов с учетом их классификации на предприятии учитываются:

— объемы используемых сырья, материалов, изделий с учетом проектной мощности;
— результаты инвентаризации отходов и объектов их размещения;
— наличие и мощность имеющихся объектов использования и обезвреживания отходов данного вида;
— наличие, вместимость, мощность и расчетный срок эксплуатации имеющихся объектов размещения отходов;
— экологические, санитарно-гигиенические и иные требования к размещению отходов;
— возможность обеспечения сохранности ресурсного потенциала у размещаемых отходов;
— экономически целесообразный объем транспортной партии для вывоза отходов;
— наличие имеющихся технологий переработки отхода данного вида, которые включены в банк данных о технологиях использования и обезвреживания отходов, являющийся составной частью государственного кадастра отходов;
— предельно допустимые вредные воздействия отходов, предполагаемых к размещению, на окружающую среду;
— экологическая обстановка на территории.

Оптимальные подходы по расчету нормативов образования отходов на единицу готовой продукции будут положены в основу актуализации проектов нормативов образования отходов производства и потребления, радиоактивных отходов всех предприятий АО «НАК «Казатомпром» и разработки плана мероприятий по снижению количества образования и размещения этих видов отходов.

В целях сокращения полигонов твердых бытовых отходов, расположенных в Шу-Сарысуйской урановой провинции, намечено в период 2017-2020 годы оптимизировать указанные объекты по размещению отходов и реализовать проект строительства мини мусоросортировочных комплексов и завода по переработке мусора в поселке Тайконур Созакского района Южно-Казахстанской области. В этом направлении налажено сотрудничество с компанией ТОО «West Dala» которая имеет практический опыт в области управления отходами.

В целом, безопасное обращение с отходами, принятие мер по повышению уровня экологической безопасности производства, снижению уровня опасности отходов и их минимизации являются одними из приоритетных направлений деятельности Общества.

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ БУРОВОГО ШЛАМА ПРЕДПРИЯТИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Буленова К.Ж., Панова Е.Н.
ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

При добыче урана методом подземного скважинного выщелачивания одним из потенциальных источников опасности для окружающей среды являются производственно-технологические отходы бурения (буровой шлам, буровые сточные воды, отработанная буровая промывочная жидкость).

Доля бурового шлама от общего числа отходов, образующихся на горнорудных предприятиях АО «НАК «Казатомпром», составляет более 95%. В своем составе буровой шлам гипотетически может содержать различные загрязнители минеральной и органической природы, представленные материалами и химическими реагентами, используемыми для приготовления и обработки буровых растворов, а также тяжелыми металлами.

Согласно Экологическому кодексу Республики Казахстан определение уровня опасности и кодировки образующегося бурового шлама является обязательным в следующих случаях:
— при переходе на иные сырьевые ресурсы;
— при изменении технологии;
— в других случаях, когда могут измениться свойства бурового шлама.

Определение уровня опасности и кодировки производится также для каждой партии бурового шлама, вывозимой за пределы предприятия, на котором он образовался.

На сегодняшний день отсутствует нормативный документ, регламентирующий определение уровня опасности бурового шлама. Данный тип отходов не определен в Классификаторе отходов, в связи с этим каждое предприятие руководствуется собственными расчетами и по-разному определяет уровень опасности буровых шламов, что влияет на размер налоговых отчислений за размещение отходов.

Цель исследования – разработка и создание единого подхода к определению уровня опасности бурового шлама, образующегося при сооружении технологических скважин на урановых месторождениях.

В качестве объекта исследования рассматривался нерадиоактивный буровой шлам, пробы которого были отобраны на 8-ми уранодобывающих предприятиях АО «НАК «Казатомпром». В частности, в настоящей работе представлены результаты исследования по определению уровня опасности бурового шлама, пробы которого были отобраны на предприятии ТОО «РУ-6», рудник Карамурун.

Исходя из требований [1], предъявляемых к определению состава нерадиоактивных отходов и токсичности их компонентов, был выбран подход к определению уровня опасности бурового шлама, включающий выполнение следующих этапов:

1. определение полного компонентного состава бурового шлама, включая химический и минералогический анализы;
2. определение класса опасности бурового шлама расчетным методом на основе экспериментальных данных вышеперечисленных исследований;
3. проведение экспериментального метода определения уровня опасности бурового шлама, включающего экотоксикологические исследования на гидробионтах (биотестирование) и токсикологические исследования на теплокровных животных;
4. отнесение бурового шлама к определенному уровню опасности на основании обобщения и анализа данных, полученных из расчетного и экспериментального методов.

Проведение вышеуказанного комплекса исследований было осуществлено в соответствии с требованиями Экологического кодекса Республики Казахстан.

ТОО «Институт высоких технологий», проводившее процедуру по определению уровня опасности бурового шлама, имеет лицензию в области охраны окружающей среды. Испытательные лаборатории, выполнявшие измерения в рамках определения уровня опасности бурового шлама, аккредитованы на соответствие требованиям СТ РК ИСО/МЭК 17025 в порядке, установленном Законом «Об аккредитации в области оценки соответствия», или прошли процедуру оценки состояния измерений в порядке, установленном в СТ РК 2.254, и имеют свидетельство об оценке состояния измерений установленной формы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Отбор проб бурового шлама производился по «методу конверта» из зумпфа и из шламонакопителя предприятий АО «НАК «Казатомпром» (табл.1), в соответствии с требованиями [2,3].

Таблица 1. Перечень уранодобывающих предприятий и виды исследуемых проб

№ п/п	Наименование предприятия, рудника	Обозначение пробы			
		бурового шлама из шламонакопителя	бурового шлама из зумпфа	бурового раствора	почвы
1	ТОО «СП «Байкен-U», рудник Харасан-2	1-1	1-2	1-1р	1-3
2	ТОО «РУ-6», рудник Карамурун	2-1	2-2	2-2р	
3	ТОО «Семизбай-U», рудник Ирколь	3-1	3-2	3-2р	
4	ТОО «СП «Каратау», рудник Буденовское-2	4-1	4-2	-	
5	ТОО «СП «Инкай», рудник Южный Тайконур	5-1	5-2	5-2р	
6	ТОО «ДП «Орталык», рудник Центральный Мынкудук	6-1	6-2	6-2р	
7	ТОО «СП «ЮГХК», рудник Акдала	-	-	7-2р	7-1
8	Филиал «Степное РУ» ТОО «Казатомпром-SaUran», рудник Жалпак	-	8-2	8-2р	
9	ТОО «Казатомпром-SaUran», рудник Канжуган	9-1	9-2	9-2р	

Комплексные исследования бурового шлама были начаты с проведения аналитических исследований компонентного состава проб четырех видов:

— буровой шлам из шламонакопителя (проба 2-1);
— буровой шлам из зумпфа (проба 2-2);
— буровой раствор (проба 2-2р);
— почва (проба 1-3).

При аналитических исследованиях было определено следующее:
— валовое содержание Cd, Zn, Cu, Pb, Ni, Mn, Cr, Co, Sn, Mo и As в пробах, сравнение полученных результатов с ПДК или кларковыми значениями [4];
— подвижные формы тех элементов, содержание которых превышает значения ПДК;
— водорастворимые формы Al, Na, K, Ca, Fe, Mg, Li, Ag, Hg, Cd, Sb, Mn, Pb, Cu, Zr, As, Cr, Ni, Bi, Ba, Be, Nb, V, Se, W, Zn, Co, Sr, Mo, U, Th;
— показатель pH водной вытяжки.

Аналитические исследования проведены с использованием таких методов как атомно-эмиссионный спектральный анализ, комплексонометрия, весовой и спектрофотометрический анализ.

Исследования минералогического состава проб бурового шлама из шламонакопителя и пробы почвы проведены с использованием таких методов как атомно-эмиссионный спектральный анализ и рентгеновская дифрактометрия.

Токсикологические опыты по определению DL_{50} – среднесмертельной дозы бурового шлама и почвы проводили в соответствии с [5] на беспородных белых мышах обоего пола, массой 20-24 г путем введения отхода в желудок в виде насыщенного водного раствора. Для каждой исследуемой пробы (проба бурового шлама из шламонакопителя и проба почвы) в эксперимент была взята группа из 6 животных, которым перорально зондом вводили водные вытяжки из пробы, приготовленной путем ее настаивания в воде в соотношении 1:1 в течение суток.

Оценку токсичности представленных проб буровых шламов и буровых растворов проводили, исходя из их потенциальной опасности для гидробионтов. При проведении данных исследований в качестве тест-объекта использовали водные лабораторные культуры Daphnia magna в возрасте до 1 суток и Poecilia Reticulata (Гуппи) в возрасте 3 месяцев. Исследования проводили в соответствии с [6,7]. Исследования одной и той же пробы проводили трехкратно.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ БУРОВОГО ШЛАМА РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Полученные результаты химического анализа показали, что исследованные буровые шламы 8-ми уранодобывающих предприятий и почва имеют близкий по качественному содержанию элементный состав, отличие состоит в количественном содержании. Содержание токсичных элементов и тяжелых металлов в буровых шламах и почве не превышает ПДК. В частности, содержание подвижных форм таких высокотоксичных элементов как Cd , Zn, Pb, Cr, Ni, Co, Mo, As в буровом шламе и почве составляет десятые и сотые доли процента. В качестве примера в таблице 2 представлены результаты химического анализа проб почвы, бурового раствора и бурового шлама ТОО «РУ-6», рудник Карамурун по определению подвижных форм элементов.

Таблица 2. Результаты определения подвижных форм элементов

Виды проб	Определяемые элементы, мг/кг												
	Cu	Hg	Sb	Mn	Pb	As	Cr	Ni	V	Zn	Co	Cd	Sn
2-1	0,2	<0,5	<1	20	0,4	<0,2	0,3	0,4	0,3	<0,5	0,4	<0,05	<0,007
2-2	1,5	0,5	<1	15	0,15	<0,2	0,6	0,6	0,8	<0,5	0,2	<0,05	<0,04
2-2р	0,5	-	-	0,3	0,3	<0,1	<0,02	0,015	-	5	<0,007	<0,5	<0,2
1-3	0,4	<0,5	<1	30	0,6	<0,2	0,6	0,6	0,4	0,5	0,15	<0,05	<0,007

Показатель pH водной вытяжки исследуемых проб соответствовал нейтральной среде, pH=7.

На основании полученных результатов химического анализа можно предполагать, что исследуемые пробы будут характеризоваться низким уровнем токсичности при токсикологическом эксперименте на лабораторных животных.

Минералогический анализ проб бурового шлама уранодобывающих предприятий показал, что основными компонентами буровых шламов является диоксид кремния, монтмориллонит, гипс, альбит, каолинит, калиевый полевой шпат, кальцит, слюда и доломит. Качественный состав почвы отличается от состава буровых шламов, в основном, за счет минералов глинистой природы. В таблице 3 представлены результаты минералогического анализа почвы и бурового шлама ТОО «РУ-6», рудник Карамурун.

Таблица 3. Результаты минералогического анализа бурового шлама и почвы

Минерал, формула	Содержание, в %	
	В буровом шламе	В почве
Кварц, SiO_2	~ 34	~ 58
Монтмориллонит (СМ), $(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \times n\ H_2O$	~ 22	~
Гипс, $Ca(SO_4)(H_2O)_2$	~ 9	~
Каолинит, $2[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$	~ 8	~
Альбит (ПШ), $NaAlSi_3O_8$	~ 5	~ 10
Кальцит, $CaCO_3$	~ 5	~ 21
Слюда, $2[K_2Al_4(Si_6Al_2O_{20})(OH, F)_4]$	~ 5	~ 2
Доломит, $CaMg(CO_3)_2$	~ 5	~ 3
Калиевый полевой шпат (КПШ), $KAlSi_3O_8$	~ 4	~ 4
Хлорит, $(Mg_5Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	~ 3	~ 2

Проведенный химический анализ охватывает весь возможный спектр компонентного состава бурового шлама, что является основой для получения объективных результатов при расчете показателя опасности бурового шлама K_d по токсико-гигиеническим параметрам его компонентов [1].

Для каждого компонента буровых шламов и почвы был проведен литературный поиск данных токсико-гигиенических параметров и произведен расчет показателей X_i, Z_i, W_i, необходимых для вычисления показателя опасности почвы, бурового шлама и, соответственно, определения их класса опасности с учетом требований [1]. Как свидетельствуют полученные результаты расчета показателя опасности бурового шлама K_d практически все образцы бурового шлама, отобранные на уранодобывающих предприятиях, следует отнести к пятому классу опасности и неопасному уровню. Такой же результат

был получен и для почвы. В качестве примера расчета K_d в таблице 4 представлены данные для пробы бурового шлама ТОО «РУ-6», рудник Карамурун.

Таблица 4. Расчет показателя опасности бурового шлама

Компоненты отхода	Содержание в пробе C_i, мг/кг	Относительный параметр X_i	Унифицированный относительный пара-метр Z_i	Логарифм норматива W_i (LgW_i)	Коэффициент показателя опасности W_i	Показатель опасности компонента K_i
Природное соединение кремния, SiO_2	340000	3,83	4,78	5,28	190546	1,784
Монтмориллонит	220000	3,83	4,78	5,28	190546	1,155
Гипс	90000	3,83	4,78	5,28	190546	0,472
Альбит	50000	3,73	4,64	4,94	87096	0,574
Каолинит	80000	3,83	4,78	5,28	190546	0,420
Калиевый полевой шпат	40000	3,83	4,78	5,28	190546	0,210
Кальцит	50000	3,83	4,78	5,28	190546	0,262
Слюда	50000	3,83	4,78	5,28	190546	0,262
Доломит	50000	3,73	4,64	4,94	87096	0,574
Хлорит	30000	3,73	4,64	4,94	87096	0,344
Cu подв. форма	0,2	2,30	2,85	2,85	710	0,000
Hg вал.сод	<0,5	1,37	1,49	1/33	21,5	0,000
Mo	<1	2,5	3,0	3,0	1000	0,001
Mn вал.сод.	500	2,80	3,40	3,40	2500	0,200
Pb вал.сод.	30	2,27	2,69	2,69	386	0,077
As вал.сод.	<10	2,0	2,34	2,34	219	0,045
Cr подв.форма	0,4	2,60	3,13	3,13	1292	0,000
Ni подв.форма	0,4	1,90	2,20	2,20	158	0,000
Zn подв.форма	0,3	2,33	2,77	2,78	599	0,000
Co подв.форма	<0,5	2,90	3,53	3,53	3400	0,000
Cd	0,4	2,22	2,63	2,63	423	0,000
Sn	<0,05	1,69	1,92	1,92	63	0,000
Суммарный показатель опасности $K_d = (\Sigma K_i)$						6,380

Согласно данным, представленным в таблице 4, для исследуемого бурового шлама суммарный показатель опасности $K_d = (\Sigma K_i)$ равен 6,380, что позволяет отнести его к V классу опасности и неопасному уровню (табл. 5) с учетом требований [1].

Расчет суммарного показателя опасности $K_d = (\Sigma K_i)$ для почвы составил 6,515.

Таблица 5. Значения показателя и классов опасности бурового шлама

Класс опасности БШ	Показатель опасности бурового шлама, K_d
I	$10^6 \geq K_d \geq 10^4$
II	$10^4 > K_d \geq 10^3$
III	$10^3 > K_d \geq 10^2$
IV	$10^2 > K_d \geq 10$
V, неопасный	Kd <10

Для подтверждения установленного расчетным методом V класса опасности (неопасного уровня) буровых шламов необходимо получить и проанализировать соответствующие результаты токсикологических исследований.

По результатам проведенного токсикологического эксперимента была определена среднесмертельная доза (DL_{50}) буровых шламов и почвы на белых мышах при введении их проб в желудок (табл. 6). Величина DL_{50} является основным критерием токсичности и опасности промышленных отходов, химических и биологических веществ.

По данным, полученным при выполнении токсикологического эксперимента, был установлен IV класс опасности для проб бурового шлама и почвы согласно [8], что является подтверждением ранее сделанного предположения о низком уровне токсичности буровых шламов по результатам химического анализа.

Таблица 6. Результаты токсикологического эксперимента по определению острой токсичности бурового шлама ТОО «РУ-6», рудник Карамурун

Наименование показателя ингредиента	Обнаруженная концентрация (параметры токсичности)
- среднесмертельная доза (DL_{50}) при внутрижелудочном введении лабораторным животным (белые мыши)	>5 000 мг/кг
- класс опасности	IV класс (малоопасные)

Критерием острой токсичности исследуемой пробы бурового шлама (DL_{50}) является гибель 50 и более процентов гидробионтов в анализируемой воде по сравнению с контролем за время биотестирования (96 часов). В качестве примера в таблице 7 представлены результаты биотестирования пробы бурового шлама, отобранной на предприятии ТОО «РУ-6», рудник Карамурун.

Таблица 7. Результаты биотестирования пробы бурового шлама

Вид пробы	Результат определения острой токсичности			
	На дафниях	Степень разведения	На рыбах	Степень разведения
2-1	+	<1000	–	1:10

Результаты исследований, проведенных на рыбах, свидетельствуют о том, что проба бурового шлама из шламонакопителя не оказывает токсичного влияния на рыб. Между тем, результаты исследований, проведенных на дафниях, показали, что по кратности разбавления, при которой вода не оказывает острого токсического действия, буровой шлам следует отнести к III (среднему) классу опасности согласно данным, представленным в таблице 8. Большое расхождение в результатах, полученных в эксперименте на лабораторных животных (IV класс, малоопасный) и на дафниях, свидетельствует о несопоставимости этих двух методов и необходимости выбора между полученными результатами при комплексной оценке класса опасности буровых шламов.

В научной литературе [9] представлены данные об отсутствии корреляционной зависимости между результатами, полученными методом биотестирования, и величинами ПДК химических веществ в объектах окружающей среды. Значения ПДК разрабатываются с учетом всех параметров острой, подострой и хронической токсичности вещества (кумулятивных, кожно-резорбтивных, аллергизирующих, мутагенных, эмбриотоксических, гонадотоксических) и других отдаленных последствий действия вещества.

С учетом того факта, что степень опасности того или иного объекта в «классическом» варианте определяется преимущественно путем сравнения полученных значений с величинами ПДК, разработанными на лабораторных животных, объективность результатов биотестирования на гидробионтах становится сомнительной. В связи с этим, считаем, что более обосновано проводить оценку опасности буровых шламов по показателям, полученным в эксперименте на лабораторных животных, без учета биотестирования на гидробионтах.

Таблица 8. Класс опасности, уровень токсичности и кратность разбавления водной вытяжки из бурового шлама и почвы

Класс опасности	Уровень токсичности	Кратность разбавления
I	Очень высокий	>10 000
II	высокий	>1 000-10 000
III	средний	>100-1 000
IV	умеренный	>10-100
V, неопасный	низкий	<10

ВЫВОДЫ

1. Проведено комплексное исследование проб почвы и буровых шламов предприятий АО «НАК «Казатомпром». Результаты токсикологического эксперимента на теплокровных животных подтверждают данные расчетного метода, согласно которому пробы бурового шлама относятся к неопасному уровню [1].
2. При проведении исследований на гидробионтах рекомендуется проводить биотестирование проб бурового шлама на рыбах.
3. Определение класса опасности бурового шлама расчетным методом было проведено с использованием данных минералогического анализа в связи с тем, что основные компоненты бурового шлама представлены в его составе в связанном виде, в виде природных минералов.
4. Считаем целесообразным проводить дальнейшие исследования бурового шлама, относящегося к неопасному уровню и не оказывающего токсичного влияния на теплокровный организм и, соответственно, на человека, с целью изыскания путей его утилизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 30774-2001 Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт опасности отходов. Основные требования.
2. ГОСТ 17.4.3.01 ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
3. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
4. ***Виноградов А.П.*** Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, 1962, № 7, с. 555–571.
5. Методические рекомендации для предварительной оценки токсичности химических веществ ускоренным методом, утвержденные приказом Главного государственного санитарного врача РК от 19.08.97 г. № 7.05.005.97.
6. СТ РК 17.1.4.01-95 Охрана природы. Гидросфера. Метод определения острой токсичности воды на дафниях.

7. ГОСТ 32473-2013 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для рыб.
8. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
9. ***Хрипач Л.В., Ревазова Ю.А., Ходжанян А.Б.*** Оценка суммарной токсичности тяжелых металлов на основе люминесцентного бактериального теста//Гигиена и санитария. 1998. - № 4. - с. 67-72.

ПОРЯДОК УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ В СОВРЕМЕННОМ ХОЛДИНГЕ НА ПРИМЕРЕ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Утешева С.М.
АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

В общем виде управление инвестиционным проектом представляет собой процесс управления финансовыми, материальными и трудовыми ресурсами на основе разработанного стратегического плана.

Инвестиционная деятельность на предприятии – это наиболее сложный вид управленческой деятельности, так как связан с будущим состоянием фирмы, которое необходимо правильно спрогнозировать или предвидеть. Инвестиции представляют собой применение финансовых ресурсов в форме долгосрочных вложений капитала (капиталовложений). Осуществление инвестиций – протяженный во времени процесс. Поэтому для наиболее эффективного применения финансовых ресурсов предприятие формирует свою инвестиционную политику. Политика представляет собой общее руководство для действий и принятия решений, которое облегчает достижение целей предприятия [1].

Инвестиционный проект (далее – ИП) – планируемая и осуществляемая система мероприятий по вложению капитала в создаваемые материальные объекты, технологические процессы, а также в различные виды предпринимательской деятельности в целях ее сохранения и расширения [2].

Методология управления инвестиционными процессами или проектами в общем случае включает следующие этапы [3]:

— планирование, занимающее основное место в операциях инвестирования и воплощающее организующее начало всего инвестиционного процесса. Сущность инвестиционного планирования состоит в обосновании целей и способов их достижения на основе детализации инвестиционных операций;
— реализация инвестиционного проекта, включающая образование управленческой структуры проекта и функционально-целевое распределение обязанностей участников проекта, собственно инвестирование (осуществление производства, сбыта и финансирования);
— текущий контроль и регулирование инвестиционного процесса на всех его стадиях – от первоначального инвестирования до ликвидации предприятия;
— оценка и анализ качества исполнения проекта и его соответствия поставленным целям.

Управление инвестиционным процессом должно базироваться на регулировании инвестиционной привлекательности экономической системы, поскольку инвестиционная привлекательность обусловливает приток/отток капитала.

Система управления должна соответствовать следующим принципам: направленность действий субъекта управления на достижение конкретных целей; комплексность процесса управления, включающего планирование, анализ, регулирование и контроль, путем использования единой методологической базы ко всем этапам управления и учета обратной связи в системе управления; единство перспективного и текущего планирования, обеспечивающего непрерывность, путем формирования инвестиционной политики в разрезе стратегии и тактики; контроль за принимаемыми управленческими решениями как важнейший фактор их реализации позволяет избежать необратимых последствий за счет непрерывного отслеживания параметров инвестиционного процесса, сопоставления их с запланированными значениями и своевременного исправления несоответствий; материальное и моральное стимулирование всех участников инвестиционного процесса, заключающееся в дополнительном субсидировании, льготировании и т.д. для инвесторов, в повышении заработной платы, в возможности использовать часть результата управления инвестиционным процессом на решение социальных задач для органов управления; индивидуальный подход к каждой экономической системе, позволяющий максимально использовать ее потенциал, реализуется посредством учета уровня экономической системы и за счет горизонтальной дифференциации систем одного уровня; гибкость организационной структуры управления, позволяющей решать функциональные и управленческие задачи, дает возможность органам управления экономической системой быстро реагировать на изменяющиеся условия внешней среды, на новые требования рынка и адаптироваться к ним.

В рамках обоснования инвестиций рассматривается вопрос о жизнеспособности проекта. Жизнеспособность проекта оценивают с точки зрения стоимости, срока реализации и доходности. Оценка позволяет выявить надежность, окупаемость и результативность проекта. Жизнеспособность проекта означает его способность генерировать денежные потоки не только для компенсации вложенных средств и риска, но и получения прибыли.

Оценка эффективности ИП включает два основных аспекта – финансовый (для оценки ликвидности проекта в ходе его реализации) и экономический (для оценки способности проекта сохранить покупательную ценность вложенных средств и обеспечить достаточный темп их прироста).

Наиболее часто используются следующие методы оценки (не считая их модификаций):

— простые (статистические, традиционные) – период окупаемости PB, учетная ставка рентабельности ARR;
— динамические (основанные на дисконтировании) – чистая текущая стоимость NPV, внутренняя ставка рентабельности IRR, индекс рентабельности PI.

Профессиональное управление инвестиционной деятельностью с учетом принципов анализа ИП и использованием методов оценки их эффективности позволяет более качественно и поступательно осуществлять развитие фирмы, то есть добиваться заданных целей с минимум инвестиционных затрат.

АО «НАК «Казатомпром» (далее – Общество) является национальным оператором Республики Казахстан по импорту-экспорту урана, редких металлов, ядерного топлива для атомных электрических станций, специального оборудования, технологий и материалов двойного назначения.

Стратегические цели Общества сфокусированы на сохранении лидирующих позиций на мировом рынке природного урана, максимальной диверсификации деятельности в дореакторный ядерно-топливный цикл (ЯТЦ) путем участия в зарубежных активах ЯТЦ (в стадиях конверсии, разделения изотопов урана, производства ядерного топлива,

строительства атомных станций), а также диверсификации в смежные высокотехнологичные направления с развитием и использованием научно–технического потенциала Компании. Основной стратегической задачей Компании является получение максимальной прибыли с каждого добытого в стране кг урана на всех последующих стадиях ЯТЦ путем эффективного и оптимального использования минерально-сырьевой базы урана РК в зависимости от конъюнктуры рынка.

Инвестиционные проекты Общества должны соответствовать стратегическим целям и направлены на повышение экономической добавленной стоимости.

Для повышения эффективности управления инвестиционными проектами в Обществе разработаны и утверждены следующие нормативные документы:
— Инвестиционная политика.
— Инвестиционный стандарт «Порядок управления инвестиционными проектами».

Общество стремится непрерывно повышать эффективность своей системы управления инвестиционными проектами, осуществляя постоянный мониторинг и внедрение передового мирового опыта.

Управление проектом на любой фазе его жизненного цикла состоит из нескольких шагов:
1. определение инвестиционных возможностей;
2. анализ альтернативных проектов и их вариантов и предварительный выбор проектов;
3. планирование (составление укрупненных сетевых моделей и календарных планов;
4. контроль;
5. регулирование.

Схематично цикл управления проектом предоставлен на рис.1.

Рис.1. Цикл управления проектом

Управление проектами – это приложение знаний, опыта, средств и практических подходов к работам проекта для определения и достижения целей проекта.

В каждом проекте обязательно присутствуют пять групп процессов:
1. процессы инициации;
2. процессы планирования;
3. процессы исполнения;
4. процессы управления;
5. процессы завершения.

На рисунке 2 изображена последовательность процессов проекта с описанием отдельных групп процессов.

Порядок управления инвестиционными проектами в Обществе регламентируется в соответствии с Инвестиционной политикой и Инвестиционным стандартом [4].

Все инвестиционные решения должны приниматься в рамках процессов модели Stage-Gate, регламентируемой настоящим Стандартом. Все процессы модели Stage-Gate основаны на поэтапной реализации проекта в соответствии с его жизненным циклом (пример процессов модели Stage-Gate приведен в Приложении 1).

Процессы инициации (Initiating Processes)	**принятие решения о начале проекта или его фазы**
⇩	
Процессы планирования (Planning Processes)	**определение рабочих схем достижения целей проекта.**
⇩	
Процессы исполнения (Executing Processes)	**координация людей и других ресурсов во время выполнения проекта.**
⇩	
Процессы управления (Controlling Processes)	**наблюдение и измерение результатов выполнения проекта и внесение необходимых коррективов.**
⇩	
Процессы завершения (Closing Processes)	**оформление завершения проекта или его фазы**

Рис. 2. Группы процессов в проекте

Жизненный цикл проекта состоит из нескольких этапов:
— **инициация** – рассмотрение возможности осуществления проекта, его предварительной экономической целесообразности и соответствия стратегическим целям и задачам Стратегии развития Компании, а также изучение альтернативных вариантов реализации проекта и выбор предпочтительного варианта в соответствии с целями проекта, выбор способа реализации проекта;
— п**ланирование** – окончательное определение объема и состава работ, источников финансирования, технологических решений, затрат и графика работ по проекту и полный экономический анализ проекта;
— р**еализация** – период, в течение которого осуществляется финансирование, создание и введение в эксплуатацию производственных активов в соответствии с утвержденной в установленном порядке ПСД, прошедшей комплексную вневедомственную экспертизу, либо проведение переговоров и заключение сделки (для проектов M&A. Проекты, направленные на расширение сферы деятельности и рост стоимости Компании или ДО через сделки слияния, поглощения или изменения долей участия (пакетов акций) в уставном капитале других юридических лиц. Создание новых юридических лиц, в том числе совместных ДО, в рамках реализации инвестиционных проектов также являются проектами M&A). Этап Реализация начинается с подготовительных работ и оформления необходимой документации для проведения работ по инвестиционной части проекта и заканчивается вводом в эксплуатацию ключевого объекта и закрытием сделки (для проектов M&A);

— **эксплуатация** – период передачи проекта в эксплуатацию, выхода на производственную мощность и достижения поставленных бизнес целей в течение срока службы актива.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В настоящее время в Компании идет формирование корпоративной культуры по управлению инвестиционными проектами, в соответствии с обновленной и актуализированной нормативной и регламентирующей документацией единственного учредителя – АО «Самрук-Казына». Основной проблемой является тот факт, что раньше в Компании решения по реализации инвестиционных проектов принимались, зачастую даже без наличия ТЭО, соответственно, не проводилась необходимая оценка экономической эффективности проектов. Также в процессе реализации инвестиционных проектов не применялась модель Stage-Gate, то есть не осуществлялась поэтапная реализация проектов в соответствии с их жизненным циклом. Все это приводило, зачастую, к недостижению планируемых проектных показателей, к срыву сроков завершения этапов реализации проектов, и, даже, к затягиванию сдачи в эксплуатацию проектов (завершение нового строительства, выход на проектную производственную мощность, реконструкция и техническое перевооружение основного оборудования и т.п.).

Действующая структура управления инвестиционными проектами Общества недостаточно эффективна.

Для повышения эффективности управления инвестиционными проектами рекомендуется использовать ряд рычагов, соответствующих передовой практике компаний-лидеров мировой урановой отрасли, а именно:

— каждый проект подлежит периодическому мониторингу исполнения и постинвестиционной окупаемости со стороны куратора проекта (с участием ответственных за контрольные точки проекта);
— при отклонениях показателей проекта от запланированных и утвержденных уполномоченными органами необходимо вносить корректировки, как в проектную документацию, так и в дорожную карту исполнения проекта;
— по результатам периодического (ежемесячного, ежеквартального) мониторинга необходимо предоставление отчетности руководству Компании, с целью принятия дальнейших мер, необходимых для эффективной реализации проекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе были рассмотрены сущность и основные понятия управления инвестиционными проектами. Проведен анализ системы управления инвестиционными проектами на примере Общества.

В Стратегии развития Республики Казахстан до 2050 года Главой государства поставлена задача вхождения страны в число 30-ти развитых мировых держав. Это означает экономический рост и повышение эффективности во всех сферах.

По ряду показателей Общество находится на уровне ведущих мировых компаний. Это такие аспекты, как объемы добычи, средняя себестоимость, применяемые технологии.

Однако, несмотря на достигнутые показатели производственно-финансовой деятельности, имеются значительные резервы для повышения качества работы, эффективности и производительности добычи и продаж.

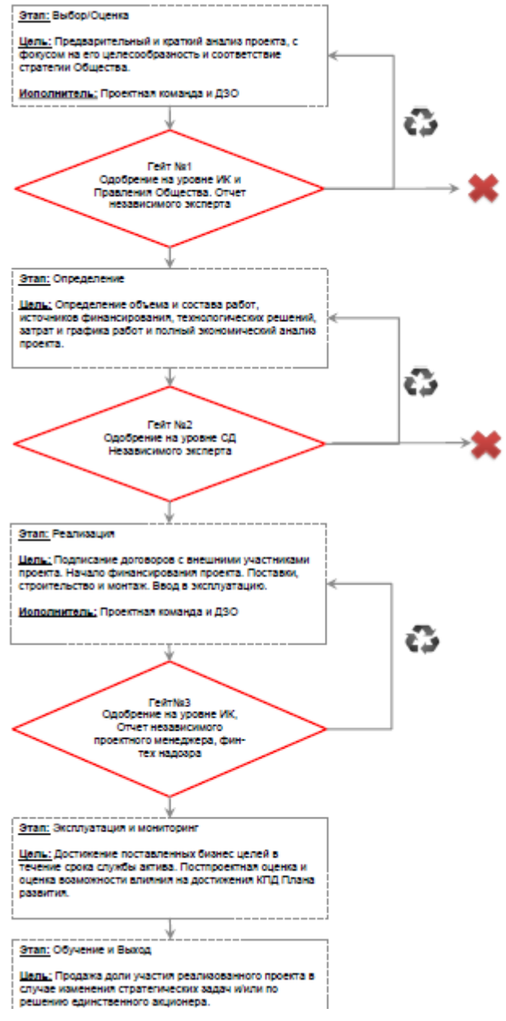
Повышение эффективности является основным приоритетом в деятельности Общества. Его рост обеспечивается за счет внедрения инноваций в технологические процессы эксплуатации, содержания и обслуживания производственных активов.

Компания планомерно осуществляет свою стратегию повышения эффективности посредством реализации проектов развития в различных функциональных областях деятельности. Для достижения поставленных задач требуется не только внедрение новых технологий, но и изменение организации управления инвестиционными проектами и соответствующей корпоративной культуры.

Система управления инвестиционными проектами Общества направлена на повышение эффективности инвестиционной деятельности, создание и сохранение надежных и эффективных отношений с акционером и инвесторами.

Совершенствование управления инвестиционными проектами в соответствии с лучшими принципами и мировыми практиками является одной из приоритетных задач национальной атомной компании.

Приложение 1
ПРИМЕРЫ STAGE-GATE ПРОЦЕССОВ



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ***Валинурова Л.С., Казанова О.Б., Исхакова Э.И.*** Инвестирование. Управление инвестиционными процессами инновационной экономики., 2012.
2. ***Колмыкова Т.С.*** – Инвестиционный анализ (Высшее образование) – 2009.
3. ***Черезов А.В.*** – Корпоративное управление. 2006.
4. Внутренние нормативные документы АО «НАК «Казатомпром»: Инвестиционная политика (утверждена в 2016г.), Инвестиционный стандарт (утвержден в 2017 г.).

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

[1]Кинтонова А.Ж., [2]Оралбекова А.
[1]ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан
[2]НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье затрагивается проблема оптимизации бизнес-процессов. В работе показана важность моделирования бизнес-процессов. Дается описание таких понятий как: бизнес-процесса, методологии описания бизнес-процессов, бизнес-модель. Рассматриваются основные типы методологий моделирования и анализа бизнес-процессов, цели моделирования бизнес-процессов, этапы описания бизнес-процессов.

«Оптимизировать» нечто можно только по определённым критериям. Оптимизировать бизнес-процесс можно по критериям стоимости, продолжительности, количества транзакций и т.д.

Жизнь не стоит на месте, поэтому рано или поздно разработанные бизнес-процессы потребуют коррекции. Чтобы бизнес-процессы, с одной стороны, соответствовали реальности, а с другой стороны, не мешали нормальному развитию компании, их нужно своевременно модифицировать, согласовывая новые редакции с участниками и доводя изменения до всех заинтересованных лиц.

Тогда система бизнес-процессов станет реальном инструментом повышения эффективности бизнеса на процедурном уровне [1].

Любая деятельность компании состоит из конкретных работ, выполняемых сотрудниками. Каждая работа состоит из набора шагов. И если на этапе молодости бизнеса каждый сотрудник выполняет работу «по наитию» – своими, только ему ведомыми методами – то формализация подразумевает, что основные действия работника описаны и он выполняет работу согласно этому описанию. Конечно, речь идет об описании бизнес-процессов. Причем применять можно самые разнообразные инструменты и методологии: от простейшей блок-схемы процесса до IDEF0 и ARIS. Параллельно с описанием процессов может проводиться их оптимизация [2].

IDEF0 – методология функционального моделирования (англ. function modeling) и графическая нотация, предназначенная для формализации и описания бизнес-процессов. Отличительной особенностью IDEF0 является её акцент на соподчинённость объектов. В IDEF0 рассматриваются логические отношения между работами, а не их временна́я последовательность (поток работ) [3].

ARIS – одна из современных методологий бизнес-моделирования, является методология, которая расшифровывается как Architecture of Integrated Information Systems – проектирование интегрированных информационных систем[4].

Чтобы провести оптимизацию бизнес-процессов, необходимо прежде всего, зафиксировать процессы в виде моделей. Если не будет описания бизнес-процессов, то и оптимизировать будет нечего. Моделирование и автоматизация бизнес процессов являются

залогом успешного функционирования компании. От профессионального моделирования бизнес процессов зависит успешность деятельности предприятия. Описание бизнес-процессов оптимизирует работу всех сегментов предприятия, исключая внутренние помехи и человеческий фактор.

Бизнес процесс – это последовательность работ, иерархия взаимосвязанных функциональных действий, конечной целью которых является выпуск продукции или отдельных ее компонентов. Бизнес процесс характеризуется технологией его реализации, его местом внутри общей бизнес системы, а также обеспечивающими данный процесс: средствами автоматизации, оборудованием, механизмами и т.п. [5]. Бизнес-процесс – это логичный, последовательный, взаимосвязанный набор мероприятий, который потребляет ресурсы, создаёт ценность и выдаёт результат. В международном стандарте ISO 9000:2000 принят термин «процесс», однако в настоящее время эти термины можно считать синонимами. Моделирование бизнес-процессов – это эффективное средство поиска путей оптимизации деятельности компании, позволяющее определить, как компания работает в целом и как организована деятельность на каждом рабочем месте [6].

Бизнес-модель - это формализованное (графическое, табличное, текстовое, символьное) описание бизнес-процессов. Основная область применения бизнес-моделей - это реинжиниринг бизнес-процессов.

Модель бизнес-процессов предприятия на основе UML для автоматизации бизнес-процессов Акционерного общества «Национальная атомная компания «Казатомпром»» оптимизирует работу всех сегментов компании. Использование UML позволит моделировать бизнес-процессы системного проектирования и отображать организационные структуры предприятия.

Методологии описания бизнес-процессов - это совокупность способов, при помощи которых объекты реального мира (например, деятельность организации) и связи между ними представляются в виде модели.

Любая методология (методика) включает три основных составляющих:
1. теоретическая база;
2. описание шагов, необходимых для получения заданного результата;
3. рекомендации по использованию как отдельно, так и в составе группы методик [5].

Описание бизнес-процессов проводится с целью их дальнейшего анализа и реорганизации. Целью реорганизации может быть внедрение информационной системы, сокращение затрат, повышение качества обслуживания клиентов, создание должностных и рабочих инструкций и т.п., а детальное описание процессов само по себе не представляет ценности. Реинжиниринг бизнес-процессов (англ. Business process reengineering) – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения максимальной эффективности производственно-хозяйственной и финансово-экономической деятельности, оформленное соответствующими организационно-распорядительными и нормативными документами. Бизнес-инжиниринг состоит из моделирования бизнес-процессов (разработка модели «как есть», её анализ, разработка модели «как надо») и разработки и реализации плана перехода к состоянию «как надо».

Основу многих современных методологий моделирования бизнес-процессов составили: методология SADT (Structured Analysis and Design Technique – метод структурного анализа и проектирования), семейство стандартов IDEF (Icam DEFinition, где Icam – это Integrated Computer-Aided Manufacturing) и алгоритмические языки.

Основные типы методологий моделирования и анализа бизнес-процессов:
- — моделирование бизнес-процессов (Business Process Modeling). Наиболее широко используемая методология описания бизнес-процессов – стандарт IDEF0. Модели в нотации IDEF0 предназначены для высокоуровневого описания бизнеса компании в функциональном аспекте;
- — описание потоков работ (Work Flow Modeling). Стандарт IDEF3 предназначен для описания рабочих процессов и близок к алгоритмическим методам построения блок-схем;
- — описание потоков данных (Data Flow Modeling). Нотация DFD (Data Flow Diagramming), позволяет отразить последовательность работ, выполняемых по ходу процесса, и потоки информации, циркулирующие между этими работами;
- — прочие методологии;
- — по отношению к получению добавленной ценности продукта или услуги можно выделить следующие классы процессов:
  - — основные бизнес-процессы (например маркетинг, производство, поставки и сервисное обслуживание продукции);
  - — обеспечивающие бизнес-процессы не добавляют ценность продукта, но увеличивают его стоимость (например финансовое обеспечение деятельности, обеспечение кадрами, юридическое обеспечение, администрирование, обеспечение безопасности, поставка комплектующих материалов, ремонт и техническое обслуживание и т.д.);
  - — бизнес-процессы управления.

Цели моделирования бизнес-процессов обычно формулируются следующим образом:
- — обеспечить понимание структуры организации и динамики происходящих в ней процессов;
- — обеспечить понимание текущих проблем организации и возможностей их решения;
- — убедиться, что заказчики, пользователи и разработчики одинаково понимают цели и задачи организации;
- — создать базу для формирования требований к ПО, автоматизирующему бизнес-процессы организации (требования к ПО формируются на основе бизнес-модели).

Важным элементом модели бизнес-процессов являются бизнес-правила или правила предметной области. Типичными бизнес-правилами являются корпоративная политика и государственные законы. Бизнес-правила обычно формулируются в специальном документе и могут отражаться в моделях.

Декомпозиция в общем смысле – это метод, позволяющий заменить решение одной большой задачи решением серии меньших задач, расщепление объекта на составные части по установленному критерию. Практически декомпозиция применяется для детализации бизнес-моделей.

Этапы описания бизнес-процессов:
- — определение целей описания;

- — описание окружения, определение входов и выходов бизнес-процесса, построение IDEF0-диаграмм;
- — описание функциональной структуры (действия процесса), построение IDEF3-диаграмм;
- — описание потоков (материальных, информационных, финансовых) процесса, построение DFD-диаграмм;
- — построение организационной структуры процесса (отделы, участники, ответственные) [6].

Различают следующие категории бизнес-процессов:
- — процессы, обеспечивающие выпуск продукции;
- — процессы планирования и управления;
- — ресурсные процессы;
- — процессы преобразования.

К основным показателям оценки эффективности бизнес-процессов относятся:
- — количество произведенной и оплаченной продукции заданного качества за определенный интервал времени;
- — количество потребителей продукции;
- — количество типовых операций, которые необходимо выполнить при производстве продукции за определенный интервал времени;
- — стоимость издержек производства продукции;
- — длительность выполнения типовых операций;
- — капиталовложения в производство продукции.

Бизнес-процесс – это логичный, последовательный, взаимосвязанный набор мероприятий, который потребляет ресурсы, создаёт ценность и выдаёт результат. В международном стандарте ISO 9000:2000 принят термин «процесс», однако в настоящее время эти термины можно считать синонимами. Моделирование бизнес-процессов – это эффективное средство поиска путей оптимизации деятельности компании, позволяющее определить, как компания работает в целом и как организована деятельность на каждом рабочем месте. Под методологией (нотацией) создания модели (описания) бизнес-процесса понимается совокупность способов, при помощи которых объекты реального мира и связи между ними представляются в виде модели. Для каждого объекта и связей характерны ряд параметров, или атрибутов, отражающих определённые характеристики реального объекта (номер объекта, название, описание, длительность выполнения (для функций), стоимость и др.).

Метод IDEF3 предназначен для моделирования последовательности выполнения действий и взаимозависимости между ними в рамках процессов. Модели IDEF3 могут использоваться для детализации функциональных блоков IDEF0, не имеющих диаграмм декомпозиции. Метод IDEF3 позволяет декомпозировать действие несколько раз, что обеспечивает документирование альтернативных потоков процесса в одной модели.

DFD. Цель такого представления – продемонстрировать, как каждый процесс преобразует свои входные данные в выходные. Может отражать не только информационные, но и материальные потоки.

Также, как и в других моделях, поддерживается декомпозиция.

Основными компонентами диаграмм потоков данных являются:
— внешние сущности (материальный объект или физическое лицо, являющиеся источником или приёмником информации, например, заказчики, персонал, поставщики, клиенты, склад);
— системы и подсистемы (например, подсистема по работе с физическими лицами);
— процессы (преобразование входных потоков данных в выходные в соответствии с определенным алгоритмом; физически это может быть, например, подразделение организации (отдел), выполняющее обработку входных документов и выпуск отчетов, программа, аппаратно реализованное логическое устройство и т.д.);
— накопители данных (абстрактные устройства для хранения информации);
— потоки данных (на диаграмме – стрелки).

Необходимо размещать на каждой диаграмме от 3 (меньше нет смысла) до 7 (больше – не воспринимаемо) процессов, не загромождая диаграммы несущественными на данном уровне деталями.

Первым шагом при построении иерархии DFD является построение контекстных диаграмм. Обычно при проектировании относительно простых систем строится единственная контекстная диаграмма со звездообразной топологией, в центре которой находится так называемый главный процесс, соединенный с приемниками и источниками информации. Каждый процесс на DFD может быть детализирован при помощи DFD или (если процесс элементарный) спецификации. Спецификации представляют собой описания алгоритмов задач, выполняемых процессами. Языки спецификаций могут варьироваться от структурированного естественного языка или псевдокода до визуальных языков моделирования.

ARIS. В настоящее время наблюдается тенденция интеграции разнообразных методов моделирования, проявляющаяся в форме создания интегрированных средств моделирования. Одним из таких средств является программный продукт, носящий название ARIS (Architecture of Integrated Information Systems), разработанный германской фирмой IDS Scheer.

Для построения перечисленных типов моделей используются как собственные методы моделирования ARIS, так и различные известные методы и языки моделирования, в частности, UML.

UML содержит в себе механизмы расширения, предназначенные для адаптации определённого языка моделирования к конкретным требованиям разработчика без необходимости изменения метамодели. Наличие механизмов расширения принципиально отличает UML от таких средств моделирования, как IDEF0, IDEF1X, IDEF3, DFD, которые сильно типизированы, т.к. не допускают произвольной интерпретации семантики элементов моделей. UML, допуская такую интерпретацию, является слаботипизированным языком. Язык UML используется также в методе моделирования бизнес-процессов, являющемся частью технологии Rational Unified Process (RUP) компании IBM Rational Software. Этот метод, направленный прежде всего на создание основы для формирования требований к программному обеспечению, предусматривает построение двух базовых моделей: модели бизнес-процессов (Business Use Case Model) и модели бизнес-анализа (Business Analysis Model)[8].

Процесс моделирования можно начинать с любого из типов моделей. Основная бизнес-модель ARIS - eEPC (extended Event-driven Process Chain, расширенная модель цепочки процессов, управляемых событиями). Нотация ARIS eEPC является расширением нотации IDEF3. Бизнес-процесс в нотации eEPC представляет собой поток последовательно выполняемых работ (процедур, функций), расположенных в порядке их выполнения. Реальная длительность выполнения процедур в eEPC визуально не отражается. Для получения информации о реальной длительности процессов необходимо использовать другие инструменты описания, например, MS Project.

Модели в ARIS представляют собой диаграммы, элементами которых являются разнообразные объекты - «функции», «события», «структурные подразделения», «документы» и т.д. Между объектами определённых видов могут быть установлены связи определённых видов («выполняет», «принимает решение», «должен быть проинформирован о результатах» и т.д.). Каждому объекту соответствует определенный набор атрибутов, которые позволяют ввести дополнительную информацию о конкретном объекте.

Основные объекты нотации eEPC:
— функция. Служит для описания функций (процедур, работ), выполняемых подразделениями/сотрудниками предприятия. Каждая функция должна быть инициирована событием и должна завершаться событием; в каждую функцию не может входить более одной стрелки, «запускающей» выполнение функции, и выходить более одной стрелки, описывающей завершение выполнения функции;
— событие. Служит для описания реальных событий, воздействующих на выполнение функций;
— организационная единица. Например, управление или отдел;
— документ. Отражает реальные носители информации, например, бумажные документы;
— прикладная система;
— кластер информации. Характеризует набор сущностей и связей между ними;
— связь между объектами. Тип отношений между объектами, например, активация выполнения функции некоторым событием;
— логический оператор. Оператор «И», «ИЛИ» или исключающее «ИЛИ», позволяет описать ветвление процесса.

Если при создании модели в eEPC указывать только последовательность выполнения процедур, не заботясь об отражении управляющих документов и информации, полученные модели будут иметь низкую ценность с точки зрения анализа и дальнейшего использования.

Существует мощное и гибкое средство визуального моделирования, поддерживающее полный жизненный цикл создания программных систем с использованием унифицированного языка моделирования (UML) – Enterprise Architect (EA) – это продукт австралийской фирмы Sparx Systems. EA называют также платформой визуального моделирования.

EA позволяет:
— создавать элементы моделей UML;
— размещать эти элементы на диаграммах;
— задавать связи между элементами;

— документировать созданные модели и элементы;
— генерировать код для разрабатываемого программного обеспечения;
— импортировать коды на различных языках, включая VB, Java, C++ и т.д. (более 10 языков);
— создавать различные шаблоны моделей предметной области и систем;
— поддерживать трассировки от моделей предметной области к моделям системы.

Дистрибутив EA поставляется как исполняемый файл (easetupfull.exe). Файлы создаваемых проектов в EA имеют расширение EAP.

Вместе с EA поставляется демонстрационный пример EAExample.EAP, и пустой проект EANew.eap.

Существуют различные версии EA (http://www.sparxsystems.com/), например,:
— corporate;
— professional;
— desktop.

Методов оптимизации бизнес процессов на сегодняшний день существует довольно много – от простых до сложных.

Главное условие успешности технологичной оптимизации - наличие модели или схемы процесса.

При оптимизации организации рекомендуется использовать проверенную на опыте формулу, включающую строгую последовательность следующих шагов: 1. описание модели организации «как есть»; 2. анализ модели «как есть»; 3. разработка модели «как надо»; 4. разработка плана перехода из состояния «как есть» в состояние «как надо»; 5. внедрение изменений и построение модели организации «как надо».

Для построения оптимальных бизнес-процессов и организационной структуры требуется наличие разработанной стратегии. В современном менеджменте проводить анализ и оптимизацию деятельности рекомендуется с использованием моделей бизнес-процессов, позволяющих схематично представить их суть[7].

Моделирование бизнес-процессов выполняют с помощью следующих методов:
Flow Chart Diagram (диаграмма потока работ) – это графический метод представления процесса в котором операции, данные, оборудование процесса и пр. изображаются специальными символами. Метод применяется для отображения логической последовательности действий процесса. Главным достоинством метода является его гибкость. Процесс может быть представлен множеством способов.

Data Flow Diagram (диаграмма потока данных). Диаграмма потока данных или DFD применяется для отображения передачи информации (данных) от одной операции процесса к другой. DFD описывает взаимосвязь операций за счет информации и данных. Этот метод является основой структурного анализа процессов, т.к. позволяет разложить процесс на логические уровни. Каждый процесс может быть разбит на подпроцессы с более высоким уровнем детализации. Применение DFD позволяет отразить только поток информации, но не поток материалов. Диаграмма потока данных показывает, как

информация входит и выходит из процесса, какие действия изменяют информацию, где информация хранится в процессе и пр.

Role Activity Diagram (диаграмма ролей). Она применяется для моделирования процесса с точки зрения отдельных ролей, групп ролей и взаимодействия ролей в процессе. Роль представляет собой абстрактный элемент процесса, выполняющий какую-либо организационную функцию. Диаграмма ролей показывает степень «ответственности» за процесс и его операции, а также взаимодействие ролей.

IDEF (Integrated Definition for Function Modeling) – представляет собой целый набор методов для описания различных аспектов бизнес-процессов (IDEF0, IDEF1, IDEF1X, IDEF2, IDEF3, IDEF4, IDEF5). Эти методы строятся на базе методологии SADT (Structured Analysis and Design Technique). Для моделирования бизнес процессов наиболее часто применяют методы IDEF0 и IDEF3[9].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. http://piter-consult.ru/home/Articles/Simply-about-the-difficult/Let-entrust-business-processes.html
2. Моделирование бизнес-процессов автоматизируемой предметной области http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/r-rsa/index.html
3. Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/IDEF0
4. ***Ковалев С.М., Ковалев В.М.*** Журнал «Консультант директора», № 12, Июнь, 2004 г. http://www.betec.ru/index.php?id=6&sid=33
5. Классификация. http://betasoft.ru/development/business.php
6. Моделирование бизнес-процессов.http://www.script-coding.com/bp.html
7. ***Золотухина Е.Б.*** Моделирование предметной области с использованием Enterprise Architect. Москва 2011, с. 49-50.
8. ***Кулябов Д.С., Королькова А.В.*** Введение в формальные методы описания бизнес-процессов. Учебное пособие. Москва 2008, с. 25-26.
9. Моделирование бизнес процессов. http://www.kpms.ru/Automatization/BPM.htm

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАТЕНТНОЙ ОХРАНЫ ИЗОБРЕТЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН И В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нурбердиева Г.А.
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

В данной работе приводится сравнительный анализ законодательства Республики Казахстан (далее - РК) и Российской Федерации (далее - РФ) с учетом последних изменений в области патентования изобретений. Статья знакомит с особенностями патентования изобретений в каждой стране, на что следует обратить внимание, при подачи заявки на изобретение гражданам РК в РФ и наоборот. В результате проведенного анализа показателей выдачи патентов на изобретения в РК и РФ выявлены некоторые отличия.

В законодательстве РК так и в законодательстве РФ отсутствует точное и единственное определение понятию «изобретение». В Гражданском Кодексе РФ (далее – ГК РФ) [1] указано, что «в качестве изобретения охраняется техническое решение в любой области, относящееся к продукту (в частности, устройству, веществу, штамму микроорганизмов, культуре клеток растений для животных) или способу (процессу осуществления действий над материальным объектом с помощью материальных средств)».

В Патентном Законе РК [2] указано, что «в качестве изобретения охраняются технические решения в любой области, относящиеся к продукту (устройству, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений или животных), способу (процессу осуществления действий над материальным объектом с помощью материальных средств), а также применению известных продукта или способа по новому назначению или нового продукта по определенному назначению».

Законодатели обоих стран для характеристики изобретений используют понятие «технический результат», так как любое изобретение направлено на то, чтобы решить конкретную задачу путем достижения заданного технического результата. Технический результат представляет собой характеристику технического эффекта, явления, свойства и т.п., которое объективно проявляется при осуществлении заявленного изобретения.

Отсутствие точного определения в законодательстве РК и РФ связано с тем, что невозможно избежать субъективного взгляда специалистов, занимающихся интеллектуальной собственностью на трактовку того или иного решения в качестве изобретения [5].

Критерии патентоспособности в обеих странах остаются общими, изобретению предоставляется правовая охрана, если оно является новым, имеет изобретательский уровень и промышленно применимо. Есть небольшие различия в материалах, которые обозначены в ГК РФ и в Патентном законе РК как «сведения об уровне техники».

При установлении новизны изобретения по российскому законодательству в уровень техники для изобретения включает любые сведения, ставшие общедоступными в мире до даты приоритета изобретения [1]. При условии более раннего приоритета также включаются все поданные в Российской Федерации другими лицами заявки на выдачу патентов на изобретения, полезные модели и промышленные образцы и запатентованные в Российской Федерации изобретения, полезные модели и промышленные образцы (ГК РФ).

По казахстанскому законодательству [2] при установлении новизны изобретения сведения об уровне техники содержащие любые сведения, ставшие общедоступными в мире до даты приоритета изобретения, также при условии их более раннего приоритета поданные в Республике Казахстан заявки на изобретения и полезные модели (кроме отозванных) и запатентованные в Республике Казахстан изобретения и полезные модели.

В соответствии с российским законодательством уровень техники включает также сведения о опубликованных заявках и патентах на промышленные образцы. В Казахстанском законодательстве отсутствует требование проверки уровня техники по заявкам и патентам на промышленные образцы.

На территории нашей страны и на территории Российской федерации наряду с законами, обладая равной с ними силой, а в случае коллизии - преимущественным действием действуют международные конвенции по охране интеллектуальной собственности.

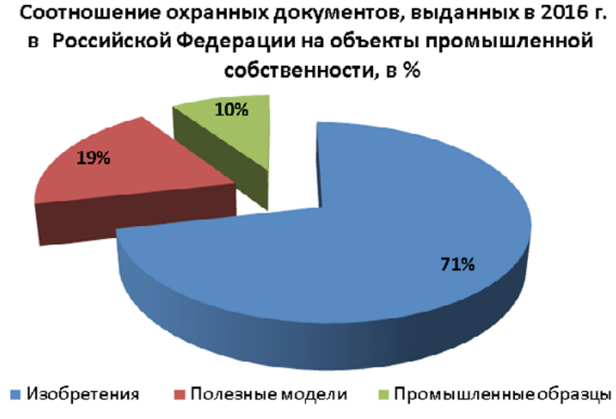
На Казахстан [5] и Россию [6] распространяют свое действие четыре важнейшие мировые конвенции, касающиеся промышленной собственности, в том числе изобретений: Парижская конвенция по охране промышленной собственности; Конвенция, учреждающая Всемирную Организацию Интеллектуальной Собственности; Договор о патентной кооперации (PCT); Евразийская патентная конвенция. Перечисленные конвенции оказали существенное влияние на формирование законодательства обоих стран.

Ниже приводятся таблицы со сведениями о динамике подачи заявок и выдачи охранных документов: на изобретения, полезные модели и промышленные образцы (таблица 1).

Таблица 1. Динамика выдачи патентов Российской Федерации на изобретения, полезные модели и промышленные образцы

Показатели	2012	2013	2014	2015	2016
Выдано патентов на изобретения.	32 880	31 638	33 950	34 706	33 536
Выдано патентов на полезные модели	11 671	12 653	13 080	9 008	8 875
Выдано патентов на промышленные образцы	3 381	3 461	3 742	5 459	4 455

Как следует из приведенной таблицы с количественными показателями выдачи патентов Российской Федерации на изобретения, полезные модели и промышленные образцы, наибольшее число заявок на объекты патентного права за последние пять лет выдаются на изобретения [3].

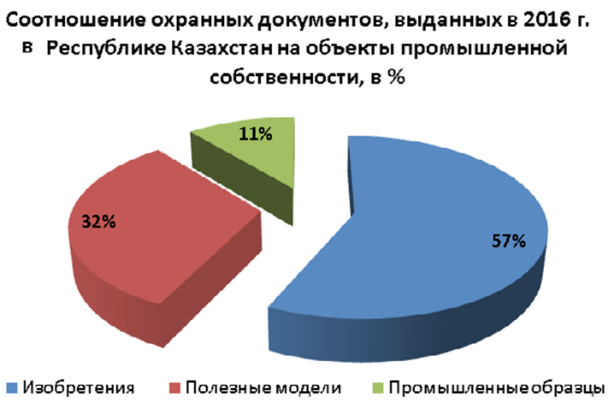


Как видно из диаграммы количество выданных охранных документов на изобретения в 2016 году составляют 71% что почти в 4 раза больше чем на полезные модели, которые составляют 19% и в 7 раз больше чем на промышленные образцы.

Таблица 2. Динамика выдачи патентов Республики Казахстан на изобретения, полезные модели и промышленные образцы

Показатели	2012	2013	2014	2015	2016
Выдано патентов на изобретения	1400	1500	1504	1504	1011
Выдано патентов на полезные модели	126	163	165	166	577
Выдано патентов на промышленные образцы	274	280	282	282	182

На диаграмме видно, что в Республике Казахстан наибольшее количество патентов выдано на изобретения в 2016 году составляют 57%, на полезные модели 32% и на промышленные образцы 11% [4].



Сравнительный анализ количества выданных охранных документов в РК и РФ показывает, что среди объектов патентного права наиболее распространенным и часто патентуемым являются изобретения.

По итогам 2015 года выдача охранных документов в процентном соотношении, учитывая численность населения в Казахстане и в России примерно одинаковая. По результатам 2016 года эта разница составляет почти 10%. Это связано с изменениями в законодательстве РК, которые расширили объекты полезной модели. В соответствии с Патентным законом РК [2] к полезной модели относятся технические решения в любой области, относящиеся к продукту (устройству, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений или животных), способу (процессу осуществления действий над материальным объектом с помощью материальных средств), а также применению известного продукта или способа по новому назначению либо нового продукта по определенному назначению. До внесения изменений в законодательство РК в качестве полезной модели охранялись техническое решение, относящееся к устройству. В Российской Федерации в качестве полезной модели охраняется техническое решение, относящееся к устройству.

Таким образом, проводя сравнительный анализ патентной охраны изобретений в Республике Казахстан и в Российской Федерации можно сделать вывод о том, что различия в

области патентной охраны изобретения незначительны. В законодательстве обоих стан для характеристики изобретений используют понятие «технический результат», а при выдаче патентов на изобретение проверяется соответствие условиям патентоспособности «новизна», «изобретательский уровень» и «промышленная применимость».

На Казахстан и Россию распространяют свое действие четыре важнейшие мировые конвенции, касающиеся изобретений: Парижская конвенция по охране промышленной собственности; Конвенция, учреждающая Всемирную Организацию Интеллектуальной Собственности; Договор о патентной кооперации (PCT); Евразийская патентная конвенция. Перечисленные конвенции оказали существенное влияние на формирование законодательства обоих стран.

Основное отличие заключается в том, что по казахстанскому законодательству в соответствии с введенными изменениями перечень объектов охраняемых в качестве полезных моделей расширился и включает технические решения в любой области, относящиеся к продукту, способу, а также применению известного продукта или способа по новому назначению либо нового продукта по определенному назначению. В Российском законодательстве в качестве полезных моделей охраняются только устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гражданский кодекс Российской Федерации IV часть Российская газета, N 289, 22 декабря 2006 г.
2. Закон Республики Казахстан от 16 июля 1999 года № 427-I Патентный закон Республики Казахстан (с изменениями и дополнениями по состоянию на 31.10.2015 г.).
3. Годовой отчет ФГБУ ФИПС «Итоги деятельности ФИПС в 2016 году и задачи на 2017 год» Официальный сайт ФГБУ ФИПС.
4. Годовой отчет РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» Министерства Юстиции РК за 2014 г. Официальный сайт РГП «НИИС».
5. Основы патентного права и патентования в Республике Казахстан: Учебное пособие/ Ответ. Редактор Каудыров Т.Е. – Алматы: Жеті жарғы, 2003 – 392 с.
6. Право интеллектуальной собственности: учеб./ И.А. Близнец, Э.П. Гаврилов, О.В. Добрынин и др.; под ред. Близнеца И.А. – М.: Проспект, 2010 – 960 с.

ЯЗЫКОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПИСАНИЯ ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ

Жданова Н.А.
Ассоциация «Ядерное общество Казахстана», Астана, Казахстан

Различные технологии и проекты сохранения знаний в отдельных критических областях имеют целевой характер и являются существенно ресурсоемкими. При этом упомянутые задачи разработки русскоязычной терминологии по существу также относятся к задачам сохранения знаний, поскольку они в специальной лексикографической форме фиксируют систему понятий отрасли.

Традиционно такой деятельностью в эпоху научно-технической революции (индустриального общества) целенаправленно занимались международные и национальные службы с привлечением экспертов соответствующих отраслей знаний [1]. Сейчас уже нет возможностей полно и оперативно реагировать на развитие науки, однако в условиях глобальной информатизации, когда пользователи реализуют информационную поддержку проектов в режиме «самообслуживания», стало возможным достаточно эффективно автоматизировать процессы поддержки ЛО в адекватном состоянии [2].

Технологически это может быть сделано путем внедрения в традиционные технологии формирования информационных продуктов отдельных элементов экспертного характера [3].

Терминологическая система любой предметной области – язык ПрО, представляет собой вполне целостное собрание семантически связанных понятий, существующих в виде глоссариев, толковых словарей и т.д. Некоторыми технологиями и проектами сохранения знаний в отдельной компактной форме, отражающей в основном связи между терминами, являются тезаурусы - перечень слов и отношений между ними, систематизированный в соответствии с принятой в данной предметной области системой классификации [4,5].

Такая понятийно-терминологическая система в совокупности образует тезаурус предметной области, который, с одной стороны, нормализует способ выражения (публикации) нового знания, а с другой - образует контекст для восприятия поступающей извне информации (является фильтром для отбора сообщений по факту присутствия в них соответствующих ключевых слов), будет сеткой понятий, образующей механизм интерпретации содержания.

Для построения тезауруса предметной области может быть использована интерактивная итеративная технология, основанная на методах и средствах информационного документального поиска и использующая документальные ресурсы научной и учебно-методической информации. Технология включает следующие основные этапы [6]:

— построение объективного и многоаспектного информационного представления о предметной области на уровне документов;
— построение терминологической основы в виде словников – списков терминов, выражающими в релевантных документах основной смысл;
— построение понятийно-терминологической сети (тезаурусов и онтологий) ПрО.

Словник представляет собой набор терминов, снабженных частотными и структурными характеристиками, позволяющими рассчитать вес термина в тематической подборке документов.

Для формирования иерархической многоуровневой словарной структуры (мини-тезауруса), используемой для упорядочения понятий на уровне родо-видовых отношений предлагается следующий алгоритм, выполнямый экспертом [7]:

— ранжирование терминов словника по значимости;
— выбор в словнике заглавных «ядерных» терминов на основе оценки их веса;
— нормализация терминов, что позволяет составить более компактный и более полный словник с большим количеством уровней вложенности;
— присоединение к заглавным терминам терминов следующего уровня по принципу включения лексических единиц нормализованного заглавного термина.

Совокупность понятий, связанных смысловыми отношениями, строится с помощью статистических и лингвистических процедур обработки текстов (научно-технических публикаций, учебно-методических материалов, глоссариев и т.д.) путем [8]:

— выделения из текста ключевых слов;
— выделения лингвистических отношений и приведение их к функциональным эквивалентам;
— построения пар ключевых слов, связанных функциональными отношениями;
— построения графа понятий, представленных ключевыми словами;
— редактирование пользователем автоматически построенного графа путем внесения, удаления, изменения терминов и отношений, а также укрупнения/детализации подграфов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сохранение знаний обеспечивается на уровне контекстно обусловленных данных – вербализованного представления на уровне базовых хорошо структурированных информационных объектов, что обеспечивает формирование информационной среды реализующей распределенное формирование и синхронизированную поддержку как общего информационного пространства процессов познания, так и индивидуального представления предметной области [9]. Причем, характерным технологическим свойством такой среды является то, что информационные объекты в ней должны создаваться «естественным» путем (а не в результате «обеспечивающей деятельности» специализированной ИС) и, по существу, иметь «двойное назначение»: являться необходимым (исходным, промежуточным или результирующим) объектом ОД и использоваться в качестве информационного в образовательных и исследовательских процессах[10, 11].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Управление рисками, связанными с потерей знаний в организациях ядерной промышленности (RISK MANAGEMENT OF KNOWLEDGE LOSS IN NUCLEAR INDUSTRY ORGANIZATIONS), STI/PUB/1248, IAEA, Vienna, 2006.
2. ***Виктор Мурогов***, AtomInfo.Ru, 24.09.2012.
3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВОК И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ № GS-R-3, Требования безопасности МАГАТЭ, ВЕНА, 2008, STI/PUB/1252.
4. ГОСТ 7.25-2001 «Тезаурус информационно-поисковый одно- язычный. Правила раз-

работки, структура, состав и форма представления».
5. IAEA-ETDE/INIS-1 (Rev. 1) (ISBN:92-0-105604-4) 1162 pp.
6. IAEA-TECDOC-1651, Information Technology for Nuclear Power Plant Configuration Management.
7. Systems engineering — A guide for the application of ISO/IEC 15288 (System life cycle processes).
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005.
9. IAEA-ETDE/INIS-1 (Rev. 1) (ISBN:92-0-105604-4) 1162 pp.
10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005, СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, Процессы жизненного цикла систем ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ ISO/IEC TR 19760 Проектирование систем — Руководство по применению ISO/IEC 15288 (Процессы жизненного цикла системы).
11. IAEA-TECDOC-1305, 2002, Safe and effective nuclear power plant life cycle management towards decommissioning.

РЕЗЕРВЫ НИЗКООБОГАЩЕННОГО УРАНА В МИРЕ

Подшивалова К.
АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

27 мая 2015 года между Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) и правительством Республики Казахстан было подписано Соглашение о создании Банка низкообогащенного урана (НОУ) на базе Ульбинского металлургического завода. 29 августа 2017 года, в Международный день действий против ядерных испытаний, состоится церемония открытия хранилища.

Инициатива по созданию резерва низкообогащенного урана в Казахстане часто озвучивается в СМИ как первая в мире. Это верно когда мы говорим о деталях проекта. Но Казахстан не первое государство, на территории которого появилось хранилище низкообогащенного урана, созданное под контролем МАГАТЭ.

Первой воплотила эту идею в жизнь Россия. В 2007 году на базе ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат» (Иркутская обл., Россия) было создано ОАО «Международный центр по обогащению урана» (МЦОУ).

Партнером России в проекте стал Казахстан. Соглашение между двумя странами было подписано 10 мая 2007 года в Астане. Позже, в 2010 году к ним присоединились Украина и Армения. Таким образом, 4 страны являются акционерами МЦОУ: контрольный пакет акций - 70% - сохранила за собой Россия, остальные 30% разделены в равном эквиваленте между другими участниками.

Государственная корпорация «Росатом» сообщила о завершении формирования запаса в декабре 2010 года. Гарантийный запас, находясь под гарантиями МАГАТЭ, создан и обслуживается за счет России.

Объем сформированного запаса в МЦОУ составляет 120 тонн в форме гексафторида урана со степенью обогащения от 2,0% до 4,95%, из которых, по крайней мере, одна треть имеет степень обогащения 4,95%. Этого достаточно для осуществления двух загрузок довольно распространенных в мире легководных реакторов мощностью 1 000 МВт.

Коммерческие поставки своим акционерам ОАО «МЦОУ» осуществляет с 2012 года.

Механизм поставок из МЦОУ[1]

Официальный сайт МЦОУ так определяет цель создания Центра: «обеспечение поставок урановой продукции в страны, выбирающие участие в российском проекте в качестве альтернативы созданию собственных обогатительных мощностей, преимущественно странам-участницам МЦОУ, но не исключительно». Согласно договоренностям с Агентством, решение о выпуске материала из гарантийного запаса НОУ принимает генеральный директор МАГАТЭ.

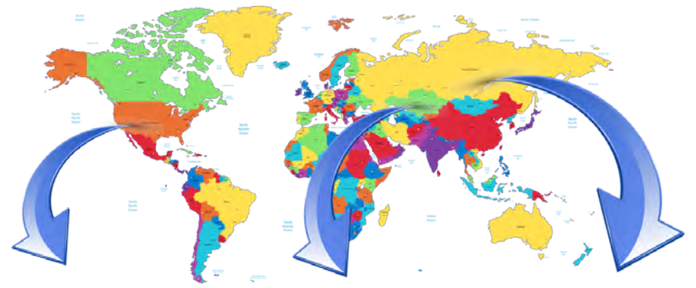
Принципиальным отличием Банка НОУ в Казахстане и МЦОУ в России является то, что в МЦОУ размещен гексафторид, произведенный на обогатительных мощностях в России и принадлежащий российской государственной корпорации «Росатом». В казахстанском Банке единственным владельцем НОУ будет МАГАТЭ.

Существует еще один депозитарий с НОУ на территории Соединенных Штатов Америки. 18 августа 2011 года Министерство энергетики США (DoE) официально объявило о создании Американского гарантированного запаса ядерного топлива (American Assured Fuel Supply – AFS). Речь о НОУ, резерв которого сформировался после переработки 17,4 метрических тонн излишков высокообогащенного урана (ВОУ) из оружейной программы США в низкообогащенный. Департамент энергетики США сообщает, что в результате разбавления получилось порядка 290 тонн урана, обогащенного до 4.95% по ^{235}U, из которых 230 тонн помещены в резерв, а остальные пошли на оплату расходов по переработке. Этот объем эквивалентен практически шести загрузкам для реактора 1 000 МВт. Процесс был завершен в 2012 году. В декабре 2013 года правительство США объявило о начале работы хранилища.

Доступ к НОУ в США открыт для внутренних и иностранных получателей, испытывающих перебои с поставками топлива на коммерческом рынке. Однако зарубежные заявители могут обратиться в AFS только через посредников в США.

Механизм поставок из AFS

Банк НОУ МАГАТЭ в Казахстане, наряду с аналогичными программами США и России, дополняют друг друга и дают странам, развивающим мирные программы ядерной энергетики, надежный резерв топлива для атомных реакторов электростанций в случае перебоев с поставками материала по коммерческим причинам.



	США American Assured Fuel Supply	КАЗАХСТАН Банк НОУ МАГАТЭ	РОССИЯ ОАО «МЦОУ»
Материал для хранения	Гексафторид урана обогащением 4,95% по ^{235}U	Гексафторид урана обогащением до 4,95% по ^{235}U	Гексафторид урана обогащением от 2,0% до 4,5% по ^{235}U
Объем	230 тонн	90 тонн	120 тонн
Владельцы	Министерство энергетики США (DoE)	МАГАТЭ	РФ (акционеры: РФ– 70%; Казахстан, Украина и Армения – по 10%)
Доступ	Заявителю, соответствующему требованиям DoE (только через посредника из США)	Заявителю, соответствующему требованиям МАГАТЭ	Заявителю, соответствующему требованиям МАГАТЭ, но преимущественно акционерам
Дата создания	18 августа 2011 года	27 мая 2015 года	29 марта 2010 года
Текущий статус	С 2013 года открыт для заявителей	Не открыт для заявителей	Ведет коммерческие поставки с 2012 года

Сравнение хранилищ НОУ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Международный центр по обогащению урана: гарантии доступа к услугам ЯТЦ и перспективы развития после событий на АЭС Фукусима// презентация МЦОУ-[Электронный ресурс]: информ. материалы. - Электрон. дан. – Г.В. Ефремов, коммерческий директор ОАО «МЦОУ»- конференция Атомэкспо, 2012 г.

ВНУТРЕННИЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

[1]Дюсамбаев С.А., [1]Мукушева А.С., [1]Садыков А.А., [2]Никитина И.И.
[1]АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан,
[2]ТОО «ИВТ», Алматы, Казахстан

Для регулирования сферы интеллектуальной деятельности в АО «НАК «Казатомпром» (далее Общество) разработаны документы, регулирующие процессы создания и использования результатов интеллектуальной деятельности. Внутренние нормативные документы (ВНД) представляют собой свод правил взаимодействия субъектов в конкретной области деятельности. Целью разработки и введения в действие ВНД является стимулирование создания научно-технологических разработок, их поощрения и поддержки; обеспечение правовой определенности в сфере научно-исследовательской деятельности и правоотношений с третьими лицами в связи с использованием технологий. ВНД предназначены для введения в действие применяемых Обществом процедур выявления, установления режима права собственности, охраны и коммерциализации интеллектуальной собственности; обеспечения своевременной и эффективной охраны интеллектуальной собственности; создания благоприятных условий для регистрации, мониторинга и ведения портфеля объектов интеллектуальной собственности; обеспечения справедливого распределения экономических выгод от коммерциализации интеллектуальной собственности с учетом вкладов изобретателей и Общества и его дочерних и зависимых организаций (ДЗО), а также вкладов любых третьих лиц; укрепления репутации Общества, его ДЗО и исследователей в национальных масштабах.

За последние годы в Обществе разработаны, утверждены и введены в действие следующие ВНД:

- правила «Защита прав интеллектуальной собственности АО «НАК «Казатомпром» решение Правления от 08.10.2014;
- инструкция «Инвентаризация объектов интеллектуальной собственности» решение Правления №384 от 02.12.2011;
- правила «Патентование результатов интеллектуальной деятельности и использование объектов промышленной собственности АО «НАК «Казатомпром» решение Правления №363 от 29.07.2013, № 814 от 15.12.2014;
- положение об экспертной комиссии по интеллектуальной собственности АО «НАК «Казатомпром» решение Правления №363 от 29.07.2013;
- порядок выплаты вознаграждения за создание и использование результатов интеллектуальной деятельности АО «НАК «Казатомпром» решение Правления №416 от 29.08.2013;
- инструкция «Оценка стоимости и коммерциализация объектов интеллектуальной собственности АО «НАК «Казатомпром» решение Правления №416 от 29.08.2013;
- положение «Рационализаторская деятельность в АО «НАК «Казатомпром» решение Правления №21/16 от 26.16.2016.

Указанные документы разработаны в соответствии с действующим законодательством Республики Казахстан в области интеллектуальной собственности, включающим: Гражданский Кодекс Республики Казахстан, Общая часть от 01.07.1999 г., Гражданский Кодекс Республики Казахстан, Особенная часть от 01.07.1999 г.; Закон Республики Казахстан от 18 февраля 2011 года № 407-IV « О науке», Закон Республики Казахстан «Об авторском праве и смежных правах» от 10.06.1996 г. №6-I; Закон РК от 16 июля 1999 г. № 427 «Патентный закон Республики Казахстан» с изменениями и дополнениями от 2007, 2009 и 2011 г.; Закон РК от 31 октября 2015 года № 381-V «О коммерциализации результатов научной и (или) научно-технической деятельности».

Наиболее значимыми результатами интеллектуальной деятельности Общества являются объекты промышленной собственности – изобретения и полезные модели, а также некоторые объекты авторского права – программы ЭВМ, монографии и технологические регламенты. Патентная практика управления указанными объектами, созданными на средства Общества, основана на условиях договоров, определяющих права сторон: Общества, финансирующего разработку, ДЗО и их авторов. Согласно договорам и техническим заданиям на проведение научно-исследовательских работ и разработок права на объекты интеллектуальной собственности принадлежат Обществу.

Процедура передачи прав от авторов к заявителю на получение охранных документов определяется положениями ст.10 Патентного закона Республики Казахстан о служебных объектах промышленной собственности. Авторы изобретения, находящиеся в трудовых отношениях с работодателем – ДЗО, как исполнителем договора, уведомляют его о создании изобретения согласно форме, утвержденной в Правилах «Патентование результатов интеллектуальной деятельности и использование объектов промышленной собственности АО «НАК «Казатомпром». Принятие рекомендательных решений о патентовании изобретения принимает Экспертная комиссии по интеллектуальной собственности ДЗО, которая направляет протоколы заседаний в Экспертную комиссию Общества для подтверждения решения о патентовании изобретения на имя Общества, как служебного объекта промышленной собственности. Все дальнейшие решения по управлению интеллектуальной собственностью, включая решения о предоставлении права использования объектов интеллектуальной собственности по лицензионному договору или использования в собственном производстве, выплаты вознаграждений, также принимает Экспертная комиссия Общества, на основании рассмотрения вопросов о распоряжении правами на охранные документы в Экспертных комиссиях ДЗО.

Рационализаторские предложения также являются результатами творческой деятельности работников, наиболее массовыми в ДЗО. Для эффективного управления рационализаторской деятельностью в каждом ДЗО приказом первого руководителя создается технический Совет из числа компетентных инженерно-технических работников и назначается ответственное лицо за ведение работ по рационализации. Решения о признании предложения рационализаторским и о принятии его к практическому использованию, либо о проведении опытной проверки, либо об отклонении предложения в ДЗО принимает технический Совет ДЗО, а в Обществе – Экспертная комиссия по интеллектуальной собственности Общества на основании предоставленных заключений заинтересованных структурных подразделений Общества.

Все разработанные ВНД и имеющаяся практика их применения направлены на консолидацию и активизацию творческих усилий всех участников интеллектуальной деятельности для достижения одной из стратегических целей Общества – увеличения добавленной стоимости за счет повышения наукоемкости казахстанской урановой продукции.

МЕТОДЫ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ПРЕДПРИЯТИИ

[1]Оралбеков М.Т., [2]Кинтонова А.Ж.
[1]НИЯУ МИФИ, Москва, Россия
[2]ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Любое предприятие имеет свои затраты, их большое количество, у кого то их больше у кого то меньше. И каждое предприятие по мере своих возможностей пытается найти методы и способы их снижения. Они разрабатывают определенную политику по снижению своих затрат.

Любому руководителя понятно, что затраты – необходимая часть бизнеса. Поэтому следует понимать, насколько производительны осуществляемые расходы, работает ли каждый вложенный в основную и вспомогательную деятельность рубль на создание прибыли. Это поможет избавиться от всех непроизводственных затрат.

Управление затратами предполагает проведение тщательного анализа затрат. Анализ затрат также предполагает сравнение фактических затрат с запланированными, выявление отклонений и принятие мер для их ликвидации.Для контроля за затратами предприятию необходимо создать управление, которое будет контролировать и стимулировать их сокращение.

Целью любой оптимизации является повышение эффективности работы предприятия, а не просто снижение затрат. Сокращение затрат неотделимо от понятия «эффективность затрат. Для разработки мероприятий по сокращению затрат нужно понять, как формируются затраты по каждому направлению, как проектируют бизнес-процессы и что следует предпринять, чтобы снизить издержки. Для этого составляются определенные планы мероприятий по сокращению затрат. В эти планы обычно включаются такие статьи затрат, которые необходимо снизить. Составляя план снижения затрат, необходимо определить ответственное лицо за его выполнение.

Оптимизация управления затратами является главным элементом системы управления затратами. Если не проводить оптимизацию затрат, то компания не сможет выжить в условиях быстро меняющейся среды. Эффективность снижения затрат зависит от того, как ведется учет доходов и расходов.

Затраты - это стоимость ресурсов, используемых для получения прибыли или достижения иных целей организации. Затраты возникают в момент приобретения организацией товаров (долгосрочных активов, сырья, материалов, полуфабрикатов, товаров для перепродажи т.п.) и услуг сторонних организаций (освещение, отопление, канализация, водоснабжение, транспортные услуги и т.д.), а также при расчетах с персоналом по оплате труда, социальным и другим обязательствам. Возникновение затрат сопровождается выплатой денежных средств, другого имущества, уменьшением прав требования (дебиторской задолженности), ростом долговых обязательств.

Затраты находятся в непрерывном движении, изменении. В частности, постоянно изменяются цены на приобретаемые сырье и материалы, тарифы на электроэнергию, различные услуги связи, транспортировки и т.д. отдельные затраты отличаются разной

степенью влияния на экономические результаты деятельности предприятия в целом, на уровень тех или иных видов последующих затрат[1].

Метод контроля:
- — изучают, факторы, влияющие на затраты;
- — проверяют соответствие технологических процессов нормам, которые закладывались еще в период проектирования предприятия;
- — рассчитывают оптимальную нагрузку производственных цехов;
- — выясняют причины перерывов в работе;
- — контролируют наличие сбоев при отгрузке или приемке товаров;
- — выявляют затаривание склада и т.п.

Затем происходит анализ и оптимизация расходов, то есть сотрудники намечают программу сокращения выявленных затрат, а руководитель рассматривает ее и утверждает. Пунктами такой программы могут стать: централизованная закупка основного сырья, более эффективная работа с клиентами и т.п.[2].

На сегодняшний день оптимизация расходов применяется в таких направлениях:
- — снижение издержек производства за счет увеличения объемов производимой продукции/услуги. В частности, этот метод позволит сократить расходы на рекламу, маркетинговые, или другие исследования, так как общая сумма расходов остается прежней, но на каждую единицу продукции приходится меньше средств;
- — повышение объема продаж за счет более эффективного маркетинга. Часто эти два метода используются в комплексе, что вполне понятно;
- — снижение расходов за счет внутренних ресурсов. Это может быть сокращение управленческих расходов, замена некоторых подразделений компании на аутсорсинг, повышение производительности труда на предприятии, и так далее;

Обязательный пункт – установление жесткой системы контроля всех финансовых потоков.

Существуют и другие методы оптимизации расходов, но вышеперечисленные методики являются самыми распространенными.

Выбор тех, или иных методов должен проводиться взвешенно, и только после тщательного анализа деятельности компании, такой анализ сложно провести своими силами, по ряду причин, поэтому стоит обратиться к специалистам в этой области.

Кроме того, только специалисты смогут определить конечные цели сокращения расходов, разработать действенный план мероприятий, только профессионалы смогут оказать помощь в воплощении этого плана в жизнь.

Кроме того, мы оказываем консультационную поддержку на каждом этапе оптимизации расходов, выполняем анализ проведенных изменений, предлагаем сопутствующие услуги (аутсорсинг, другие консалтинговые услуги) – одним словом, берем самое активное участие в процессе, до получения нужного результата[4].

Для любого бизнеса основная цель - максимизации прибыли, увеличения рыночной стоимости предприятия в интересах их владельцев. Приспособление предприятия к рыночным условиям требует как изменения выполняемых функций, так и внутренней

организационной перестройки, прежде всего дополнения организационной структуры новыми звеньями, пересмотра всей системы распределения прав, полномочий и ответственности.

Оценка реальных потребностей рынка и собственных (наличных и потенциальных) возможностей, ориентация на рыночный спрос - краеугольный камень выработки стратегии предприятия и создания обеспечивающих ее организационных механизмов.

Менеджеры компании должны постоянно изыскивать пути снижения издержек производства без уменьшения полезности товара. Полезность - общепринятый экономический термин, выражающий предполагаемое удовлетворение потребностей в результате использования или владения товарами. Часто в литературе, посвященной вопросам управления, ее еще называют «качеством». Некоторые теоретики стратегии утверждают, что перед фирмой всегда открыты две возможности: конкуренция, основанная на издержках, и конкуренция, основанная на дифференцировании. Однако этот выбор является искусственным. Сегодня фирме необходим как низкий уровень издержек, так и дифференцирование, нацеленное на повышение полезности. Невысокие издержки помогают фирме создать отличительное преимущество либо путем снижения цены для потребителей, либо с помощью инвестиций в товары, услуги, персонал или в улучшение имиджа.

На первом этапе проводится анализ структуры издержек производства конкретного товара или затрат подразделения фирмы. Большинство систем калькуляции и исчисления издержек неэффективны в отношении их распределения между конкретными подразделениями фирмы, товарами или потребителями. Общепринятые правила бухгалтерского учета зачастую дают неправильное представление об истинной прибыльности различных подразделений, поэтому многие фирмы перешли к учету издержек по видам деятельности, что позволяет получить реальную картину состояния дел.

Величина издержек фирмы, в сравнении с конкурентами, определяется следующими финансовыми факторами. Экономия от масштаба. По мере роста производства фирмы имеют возможности достичь более низкого уровня издержек и распределять фиксированные издержки, связанные, например, с научно-исследовательской деятельностью или с рекламой, на большее количество продукции. Опыт. По мере того как компания приобретает новые знания, которые позволяют ей повысить эффективность работы, издержки производства снижаются. Эффективное использование мощностей. Фирма, использующая производственные мощности в полную силу, имеет меньшие издержки. Связи. Уровень издержек одного вида иногда определяется значением других. Например, компания, в сравнении с конкурентами, использует более качественные и дорогие материалы, однако такого рода издержки с лихвой компенсируются низкими издержками производства и обслуживания. Высокие издержки в одной области не обязательно означают низкую эффективность. Взаимоотношения. Когда издержки распределяются между несколькими товарами или подразделениями (например, научно-исследовательским подразделением и отделом обработки заказов), их сумма может быть уменьшена. Интеграция. Вертикальная интеграция, когда фирма берет на себя вы полнение функции, обычно осуществляемой сторонними подрядчиками (например, перевозки), возможно, приведет к снижению издержек. Своевременность.

Если компания выходит на рынок первой, она обычно получает преимущество по издержкам. Обычно на первом этапе создание имиджа марки не требует особых затрат,

а раннее освоение рынка впоследствии обеспечивает низкие издержки. Месторасположение. Территориальная разобщенность функциональных подразделений отрицательно сказывается на трудовых, административных издержках, а также затратах, связанных с закупкой материалов. Внешние факторы. Ставки налогообложения, нормативы, предусмотренные профсоюзными организациями, федеральное и региональное регулирование воздействуют на относительное преимущество предприятия по издержкам. Стратегия маркетинга. Факторы, направленные на повышение полезности товаров, также оказывают влияние на издержки. Наделяя товар различными особенностями и предоставляя дополнительные услуги, фирма несет крупные издержки, которые она возмещает, реализуя его по высоким ценам или в большем количестве[5].

Все стратегии снижения затрат утверждаются руководителем, они находят свое отражение в бюджете предприятия. Нарушать принятые решения можно только в исключительных случаях. За соблюдением этого правила должны отвечать финансовые службы. В их обязанность входит следить за обоснованностью расходов и отсекать ненужные траты. Жесткая финансовая дисциплина должна подтверждаться приказом руководителя, в котором указано, что решение о расходах принимает одно или несколько назначенных директором ответственных лиц.

Три пути оптимизации расходов.

Экспресс-сокращение. При этом способе борьбы с затратами, нужно немедленно прекратить оплачивать расходы по некоторым статьям. Для этого проанализируйте все пути оптимизации расходов и выясните возможные последствия. Затраты по значимости делятся на:

1. Высокоприоритетные - это покупка сырья, выдача зарплат основным работникам и т.п. Без таких затрат предприятие остановит свою деятельность.
2. Приоритетные - расходы на рекламу, оплата мобильной связи сотрудникам и др. Приостановка финансирования этих статей приведет к сбоям в работе компании.
3. Допустимые - санаторное лечение и другие льготы для сотрудников. Финансирование желательно, но не обязательно сохранять, особенно, если у предприятия нет свободных средств.
4. Ненужные - например, оплата отдыха руководителю. На работе предприятия никак не скажется прекращение финансирования ненужных затрат.

Если выбрана экспресс-стратегия снижения затрат, то прекращается финансирование последней категории, резко ограничиваются расходы по третьей. Нежелательно сокращать расходы по первым двум категориям[6].

Быстрое снижение расходов на предприятии.

1. Экономия на сырье и материалах. Пути оптимизации расходов по этой, самой затратной, статье могут быть разными. Наиболее эффективный - пересмотр договоров с поставщиками. Сотрудничайте с крупными компаниями, которые могут предложить более низкие цены и отсрочки по платежам.
2. Анализ и оптимизация затрат на транспорт, телекоммуникации, электроэнергию.

Если направлением деятельности компании не является оказание транспортных услуг, то можно отдать транспортный цех на аутсорсинг. Также нужно рассмотреть возможность сокращения автопарка и обратиться в логистическую компанию, которая поможет

свести к минимуму расходы на транспорт.

Самые распространенные способы снижения расходов на электроэнергию: контроль расхода энергии, ограниченное освещение в темное время суток, переход на энергосберегающее освещение и оборудование.

Затраты на коммуникации сократятся, если уменьшить список работников, пользующихся оплачиваемой предприятием мобильной связью. Уменьшите количество телефонов с выходом на межгород, ограничьте интернет-доступ, договоритесь с крупным телекоммуникационным оператором о пакетном обслуживании.

Сокращение персонала и фонда оплаты труда. Рассмотрите необходимость некоторых отделов. Эффективности снижения затрат способствует динамичное развитие аутсорсинга и фриланса. Многие функции компании можно передать сторонним компаниям и специалистам. Кроме того, различные рекрутинговые организации позволяют сократить неквалифицированный персонал. Например, техничку можно «арендовать» несколько раз в неделю на пару часов. Более демократичный способ снижения расходов - сократить заработную плату, но предоставить работникам социальные льготы: бесплатное питание, расширенную медицинскую страховку и т.п.

Систематическое сокращение.

1. Управление инвестициями. Инвестиции в покупку нового оборудования и во внедрение современных технологий необходимы предприятию для сохранения его конкурентных преимуществ. Но принимая решение о вложении средств в какой-либо проект, не стоит забывать о ранее поставленной задаче - увеличение эффективности снижения затрат. Инвестиционные проекты должны проходить строгий отбор. Сначала подразделение, которому необходим проект, должно обосновать его целесообразность. Затем желательно пригласить независимых экспертов, которые произведут технико-экономический расчет и помогут отобрать из нескольких предложений самое перспективное и выгодное.
2. Управление закупками заключается в систематическом поиске выгодных поставщиков.
3. Управление бизнес-процессами. Большинство из сегодняшних технических специалистов на вопрос: как добиться снижения расходов на предприятии, ответят: купить новое производительное оборудование. Между тем, бизнес-процессы давно претерпели революционные изменения. Для эффективности снижения затрат некоторые предприятия применяют технологию «бережливого производства» (lean thinking). Суть состоит в том, что расходы оцениваются с точки зрения клиента: согласится ли он их оплачивать. Покупатель не стал бы оплачивать брак и переделки, перепроизводство, перемещение товаров, запасы, ожидания и т.п. Тем не менее, эти операции имеют ценность, значит, расходы на них нужно сокращать или вовсе избавляться от тех процессов, которые не одобрил бы потребитель[6].

Процессы управления запасами являются важной составной частью системы управления предприятием, поэтому их эффективность характеризуется таким ключевым критерием, как величина затрат, образующихся при управлении запасами. В настоящее время решение задач повышения эффективности управления предприятием невозможно без применения современных вычислительных систем и программных комплексов. Как показывает практика, автоматизация управления предприятием без инноваций в собственно сами методы управления, не дает значительного эффекта. Необходима адаптация, проработка методик и моделей управления, в том числе и управления запасами. Внедрение математических моделей, алгоритмов, предназначенных для решения задачи управления запасами и новых информационных технологий, позволяет автоматизировать процесс получения оптимального решения для многопродуктового ассортимента современного торгового предприятия[7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. http://studepedia.org/index.php?vol=2&post=18440
2. http://kupi-franshizu.ru/stati/1363-puti-optimizacii-i-snizhenie-rashodov-na-predprijatii_jeffektivnost-snizhenija-zatrat.html
3. http://www.ap-group.ru/services/management-advice/eec-optimization/
4. Управление бизнес-процессами. https://www.elma-bpm.ru/product/bpm/?utm_source=Adwords&utm_medium=ALL&utm_campaign=ALL001&gclid=CJ3d08utq9QCFcmqGAodyMgEgQ
5. http://biznes-planirovanie.ru/cat/quality_cost_optimization/
6. http://kupi-franshizu.ru/stati/1363-puti-optimizacii-i-snizhenie-rashodov-na-predprijatii_jeffektivnost-snizhenija-zatrat.html
7. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat http://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-zatrat-v-sisteme-upravleniya-zapasami-torgovogo-predpriyatiya-v-kratkosrochnoi#ixzz4o4pjxh15

СОДЕРЖАНИЕ

МИРОВАЯ УРАНОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УРАНОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И РАЗВИТИЕ
ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН
Ибраев Б.М. 11

МИРОВАЯ УРАНОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ:СОСТОЯНИЕ,
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ, ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ
Бойцов А.В. 14

УРАНОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ
Машковцев Г.А. 22

NUCLEAR FUEL MANUFACTURING TODAY AND TOMORROW
Reimann P., Morillon T. 24

A MULTI-SITE MULTI-NATIONAL APPROACH FOR INTEGRATION
OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE
Jor-Shan Choi 26

IFE AND THE OECD HALDEN REACTOR PROJECT:
INNOVATION FOR IMPROVED NUCLEAR ENERGY PRODUCTION
McGrath M.A. 27

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ НА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ДЕТРИТА
НА ДИНАМИКУ ПРОЦЕССА ПСВ УРАНА
Полиновский К.Д. 33

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНВЕРСИИ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ
ПРИ ДОБЫЧЕ УРАНА
Дуйсебаев Б.О., Байтасов К.М., Ужкенов Б.С., Сабденов К.О. 40

RESERVOIR CLOGGING IN ISR OPERATION
Le Beux A., Schmitt J.-M., Lagneau V., Fiet N. 46

3D REACTIVE TRANSPORT SIMULATION
OF URANIUM IN SITU LEACHING
Regnault O., Petit G., Lagneau V., Le Beux A., Fiet N. 55

ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУДЕННОВСКОЕ,
ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ В ПРАКТИКЕ РАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
Матунов А.И. 64

РАҚ ҚОЙМАСЫНДАҒЫ УРАН САЛМАҒЫН
ЕСЕПТІК-ТӘЖІРИБЕЛІК ЖОЛМЕН АНЫҚТАУ
Прозорова И.В., Зубарев В.Н., Бауыржан А.Б. 69

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПО ВОВЛЕЧЕНИЮ В ОТРАБОТКУ
ТЕХНОГЕННЫХ И ОСТАНЦОВЫХ УРАНОВЫХ РУД
Ниетбаев М.А., Першин М.Е., Ермилов А.Н., Уваров А.Д.,
Акопян Ю.М., Кайсабекова Б.М., Поезжаев И.П. 72

«СЕМІЗБАЙ» КЕНОРНЫНДАҒЫ УРАНДЫ ЖЕРАСТЫ
ШАЙМАЛАУ ҮДЕРІСТЕРІНДЕГІ РАДИОТОЛҚЫНДЫ
ГЕОИНТРОСКОПИЯ
Батиев Р.А., Алтынбек А.Д. 78

ГИДРО-ПНЕВМО УДАР НА ПЛАСТ
Өмірғали А.Қ., Мушрапилов А.А. 82

ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОВОЛНОВОЙ ГЕОИНТРОСКОПИИ
МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА
ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА
Демехов Ю.В., Истратов В.А. 86

РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ
МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА БУРОВЫХ СКВАЖИН
В ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Абдраимова Г.А., Бекенов Е.Т., Сергалиев А.С., Хаджиева Л.А. 94

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ
РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА
МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (ПСВ)
Носков М.Д., Истомин А.Д., Кеслер А.Г.,
Чеглоков А.А., Гуцул М.В., Сакирко Е.Г. 102

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА
Носков М.Д., Кеслер А.Г., Носкова С.Н., Теровская Т.С. 108

НАЗЕМНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ УСТАНОВКА ПРОМЫВКИ
И ОСВОЕНИЯ МАЛОДЕБИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН
И ПРОВЕДЕНИЯ РВР «УПОС А1»
Өмірғали А.Қ. 113

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ
МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ВИДЕ РОЛЛ-ФРОНТОВ
Айжулов Д. Е., Калтаев А. 120

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ПОИСКАХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Кашафутдинов И.В., Петровский В.Б. 121

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТРАБОТКИ ВИСЯЧИХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ
Аманбай М.С., Матаев М.М., Толеуханов А.Е. 126

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СОПРОВОЖДЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН
Койлубаев Э.С., Бейсеитов Д.А. 134

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАНА ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА
Аманбай М.С., Мырзабек К.А., Молдакулов Н.З., Ефремов А.М., Лукоянов А.В. 138

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ $U\text{-}FeS_2\text{-}H_2S$-ВОДА ДЛЯ УСЛОВИЙ ЗАКИСЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ ПРИ СПВ УРАНА
Пастухов А.М., Скрипченко С.Ю. 142

СПОСОБЫ ЗАКИСЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «МЫНКУДУК» УЧАСТОК «ВОСТОЧНЫЙ» И ИХ ОСОБЕННОСТИ
Колосов И.Л. 147

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИПОХЛОРИТА КАЛИЯ
Аликулов Ш.Ш. 156

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА МЕСТОРОЖДЕНИЙ «ИРКОЛЬ»
Баймолдинов А.Б., Кенжетаев Ж.С., Оралбеков А.Т., Матаев М.М., Копбаева М.П., Мырзабек К.А., Алтынбек А.Д., Салкынбаев М.Б. 158

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ УРАНА ПРИ ПСВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ
Разуваева Т.В., Поезжаев И.П., Мырзабек Г.А., Копбаева М.П., Мырзабек Қ.Ә., Тунгатарова М.С. 162

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПРИ ПСВ УРАНА
Кенжетаев Ж.С., Баймолдинов А.Б., Копбаева М.П., Косунов А.О., Матаев М.М., Оралбеков А.Т., Мырзабек К.А., Штайнбрехер А., Фриш Д. 169

ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ, ПОЛУЧЕНИЕ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА, ПОПУТНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

ПОЛУЧЕНИЕ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ НИТРАТНО-СЕРНОКИСЛЫХ ДЕСОРБАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТВОРОВ АММИАКА И УГЛЕАММОНИЙНОЙ СОЛИ
Смирнов А.Л., Титова С.М., Рычков В.Н., Попонин Н.А. 177

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОБЫЧЕ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
Құрмансейіт М.Б., Тунгатарова М.С. 181

БТК (БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-ТЕХНИКАЛЫҚ КЕШЕНДЕР) НЕГІЗІНДЕГІ АФФИНАЖ ТОРАБЫНЫҢ БҰҒАУЛАРЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ БЖ (БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМАСЫ)
Мурзахметов С.Б. 182

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОВАРНОГО РЕГЕНЕРАТА (ЭЛЮАТ) В ПРОЦЕССЕ РЕГЕНЕРАЦИИ
Хужаев Ж.Э., Халимов И.У., Аликулов Ш.Ш. 185

СЖИГАНИЕ НЕКОНДИЦИОННЫХ УРАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
Мащенко В.В., Токсанбаев Б., Айдуйсенов Б., Нуржанов К. 187

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ДЕСОРБАТОВ И СНИЖЕНИЕ В НИХ ПРИМЕСЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
Бердалиев Б.А., Калмаганбетов Е.З., Прокудин В.Г., Кауменов А.Е. 193

NI MYRIO НЕГІЗІНДЕ АППАРАТТЫ-БАҒДАРЛАМАЛЫҚ 0КЕШЕНІМЕН ӨҰИС РАДИАЦИЯЛЫҚ ТӨЗІМДІЛІГІН СЫНАУ
Омар Қ.М. 201

«ИІРКӨЛ» КЕНОРНЫНДА ҚАЙТАРМА ЕРІТІНДІЛЕРДІ ФЛОКУЛЯНТ КӨМЕГІМЕН ӨҢДЕУ
Алтынбек А.Д., Батиев Р. А., Кадирбеков К.А. 205

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОЗДАНИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЭКСТРАКЦИОННЫХ СИСТЕМ
Егоров А.В., Егорова Т.Б., Дуйсебаев Б.О. 208

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УНИФИКАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ
К ИОНООБМЕННЫМ СМОЛАМ ЧЕРЕЗ ОТРАСЛЕВОЙ
СТАНДАРТ КСС АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»
«ТРЕБОВАНИЯ К ИОНООБМЕННЫМ СМОЛАМ
ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»
Демехов Ю.В., Тюлюбаев З.М., Копбаева М.П., Ташута Г.Н., Близнюк В.И., Кемельбаева А.С., Сайдуллаева С.А., Есемханов Ч.Д. 214

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕТРАФТОРИДА УРАНА
ИЗ РАСТВОРОВ РЕЭКСТРАКЦИИ
Смирнов А.Л., Рычков В.Н., Скрипченко С.Ю., Титова С.М., Полянский А.И. 215

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ДВИЖЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ХЛОР ИОНА
ПРИ СОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ УЧАСТКОВ №1, 2, 3 (ОПВ 3)
Джемисова М.У., Бекбаев Ж.Н., Жансугуров Д.О., Максутов Д.М., Принзин Н.А. 220

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
КАК МЕТОД РЕШЕНИЯ
ИОНООБМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
Бердыхалык А., Алибаева К.А., Карманов Е.М. 224

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ИОНООБМЕННУЮ
СМОЛУ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ УРАНА
ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ
Мырзакулов Н.Д., Кононов А.В., Нурманов К.К., Лексин А.М., Лебедев Н.М., Арефьева А.Н. 230

ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ УРАНА
ИЗ УРАНОНОСНЫХ ТОРФЯНИКОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАМЫШАНОВСКОЕ»
Евтеева Л.И, Совеня Н.В., Хохлов С.В. 234

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ
Рогов Е.И., Рогов А.Е. 239

ИННОВАЦИОННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ
ПРИ ПСВ МЕТАЛЛОВ
Рогов А.Е., Багашарова Ж.Т., Азимхан К.А., Гуменюк В.В. 245

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ПСВ МЕТАЛЛОВ
С КУСТОВЫМ СПОСОБОМ РАСПОЛОЖЕНИЯ
ДОБЫЧНЫХ СКВАЖИН
Рогов Е.И., Азимхан К.А., Багашарова Ж.Т., Гуменюк В.В. 254

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЯТЦ. РЕСУРСЫ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ, РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС
НА БАЗЕ РЕАКТОРОВ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ
ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Аусенов К.Ж., Шаманин И.В. 263

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ
В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН
Пирматов Э.А., Пирматов А.Э., Шафранов А.Г., Турко С.И. 269

СОРБЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИОНООБМЕННЫЕ
СМОЛЫ AXIONIT ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ,
ДРАГОЦЕННЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ
Кондруцкий Д.А., Востров Е.С., Третьяков В.А., Гаджиев Г.Р., Милютин В.В., Некрасова Н.А. 273

ПОДБОР ИОНООБМЕННЫХ СОРБЕНТОВ
ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗАДАЧ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ
РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ
Татарников А.В., Михайленко М.А. 274

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЗЭ ИЗ РАСТВОРОВ
ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА
Рычков В.Н., Кириллов Е.В., Кириллов С.В., Буньков Г.М., Боталов М.С., Смышляев Д.В. 275

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХОЛОДНОГО ВСЕСТОРОННЕГО
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ТАНТАЛОВОЙ И НИОБИЕВОЙ ПРОДУКЦИИ
С УЛУЧШЕННОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ
И МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ
Ангилевко А.В., Гайнцев Г.А., Цораев В.А., Попов Д.В. 278

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
И АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ И МАТЕРИАЛОВ
В ФИЛИАЛЕ «ИВТ-ЗЕРДЕ» ТОО « ИВТ»
Халенов О.С., Кемельбаева А.С., Токсанбаев Б.Ж., Балтабаев А.Ж., Торебеков А.К., Косунов А.О., Копбаева М.П. 284

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ДЛЯ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
Бишимбаева Г.К., Жандаев Н.М, Жумабаева Д.С., Сень С.М. 286

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ОКСИДА ЦИНКА, ЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОМ
Смайлова А.Б. 293

УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЗАХСТАНА
КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ
ДЛЯ ПОПУТНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ
Демехов Ю.В., Есемханов Ч.Д., Копбаева М.П., Кумарбекова А.Т. 295

УРАН-БЕРИЛЛИЕВОЕ ТОПЛИВО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ»
- ПЕРСПЕКТИВНОЕ АВАРИЙНО-УСТОЙЧИВОЕ ТОПЛИВО
ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ
Леваневский И.О., Русин Ю.Г., Фотин А.Е. 299

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ
ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО УРАНА В АО «УМЗ»
Гусакова Г.В., Кузьмин К.А., Рыжков С.Г., Ярошенко Н.Н. 305

ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ
ПОЛУЧЕНИЯ ФТОРОВОДОРОДА
Федорчук Ю.М., Матвиенко В.В., Саденова М.А.,
Толепбергенова Р.А., Утегенова М.Е., Воронков Н.Н. 309

СНИЖЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ
ОТХОДОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ»
ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ УРАНА
Гофман А.А., Малышкин Е.Г., Ярошенко Н.Н., Романова К.Б. 318

АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ
Котов В.М., Витюк Г.А., Сураев А.С., Ерыгина Л.А. 320

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ОБЛУЧЕННОЙ В РУ БН-350 АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ
Скаков М.К., Бакланов В.В., Коянбаев Е.Т. 324

СИСТЕМА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ МОДУЛЯ
ЦЕНТРАЛЬНОГОПРОЦЕССОРА В АСУТП АЭС
Акылбеков Р.Б. 327

УРФУ – РАЗРАБОТЧИК И ИЗГОТОВИТЕЛЬ СТАНДАРТНЫХ
ОБРАЗЦОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Лисиенко Д.Г., Домбровская М.А., Абрамов А.В. 330

ТМД ЕЛДЕР ЭКОНОМИКАСЫНЫҢ ЖОҒАРҒЫ
ТЕХНОЛОГИЯ ДАМУЫНЫҢ ТАЛДАУЫ
Демешев А.К. 332

ИКЕМДІ ИНФРАҚҰРЫЛЫМДЫҚ РЕАГЕНТЕРДІ
БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНЕ КӨШУ АРҚЫЛЫ УРАНДЫ
ТҰТЫНДЫРУ ӨНДІРІСТІК ӨЗІНДІК ҚҰНЫН
КЕМІТУ ТУРАЛЫ
Бисенов Е.М., Балқыбеков С.С. 334

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЛИТИЯ.
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
Нигматов Д.Ф., Жандаев Н.М., Бишимбаева Г.К., Мусаев Р.А. 336

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, ПРАВОВЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АТОМНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

DEPLOYMENT OF HIGH NFC TECHNOLOGIES
AND IMPACTS ON NATURAL URANIUM PRICES
ChoiJor-Shan. 345

ВЫЗОВЫ «ЦИФРОВОЙ» РЕВОЛЮЦИИ:
ОТ «КЛАССИЧЕСКОГО ОБУЧЕНИЯ»
К «РАЗВИТИЮ СПОСОБНОСТЕЙ»
Мусина Б.Б. 346

ОПЫТ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»
ПО ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВУ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ
В ОБЛАСТИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ УРАНА
Ибраев Б.М., Дюсамбаев С.А., Мукушева А.С., Копбаева М.П.,
Кайпбаев Д.К., Имансаева А.М., Искаков З.А., Никитина И.И. 347

ЗИЯТКЕРЛІК ӘЛЕУЕТТІ АРТТЫРУҒА
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТӘСІЛДІ ҚОЛДАНУ
ТӘЖІРИБЕСІ
Қаймолдина Ә. 352

УПРАВЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ
ТОО «СП «ИНКАЙ» (ОПЫТ)
Джаксыбаев А.Х., Диракка А. 354

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ
ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ НА БАЗЕ КРУПНЫХ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕНТРОВ
Иоффе А.И., Ибраев Б.М. 358

25 ЛЕТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Батырбеков Э.Г., Скаков М.К. 359

К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ УГРОЗ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
ГОРНОРУДНОГО КОМПЛЕКСА
В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН
Ниетбаев М.А., Тлесбаев Д.С., Ермилов А.Н. 361

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА КОШКАР-АТА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ
Дүйсенгалиев Н.М., Бигалиев А.Б. 366

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ
ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОПУХОЛЕВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
Малтикенов А.К. 372

ПРОВЕДЕНИЕ РАЗЪЯСНИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ С НАСЕЛЕНИЕМ
В ВВЕРЕННЫХ ПОДШЕФНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ
ПО НАПРАВЛЕНИЯМ РАДИОФОБИЯ, ВОЗДЕЙСТВИЕ
ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ПОВЫШЕНИЕ
ГРАМОТНОСТИ В ОБЛАСТИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
Болысбаев Е. 375

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ
НА КИР «БАЙКАЛ-1»
Тимонов А. 381

СТРАТЕГИЯ, НАУКА, ИННОВАЦИИ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ
Косунов А.О., Горкун В.И. 387

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ КАК ИНСТРУМЕНТ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ
УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Смайлов Е.К., Панова Е.Н., Борисенко В.А., Жомартов Д.С. 393

ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»
Елеушов Б.С., Панова Е.Н., Беремжанов Р.Б., Блынский П.А. 397

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ БУРОВОГО ШЛАМА
ПРЕДПРИЯТИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»
Буленова К.Ж., Панова Е.Н. 402

ПОРЯДОК УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ
ПРОЕКТАМИ В СОВРЕМЕННОМ ХОЛДИНГЕ
НА ПРИМЕРЕ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»
Утешева С.М. 410

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ
Кинтонова А.Ж., Оралбекова А. 416

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАТЕНТНОЙ ОХРАНЫ
ИЗОБРЕТЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН
И В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Нурбердиева Г.А. 424

ЯЗЫКОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПИСАНИЯ ЯДЕРНЫХ ЗНАНИЙ
Жданова Н.А...... 428

РЕЗЕРВЫ НИЗКООБОГАЩЕННОГО УРАНА В МИРЕ
Подшивалова К. 431

ВНУТРЕННИЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ
АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ
Дюсамбаев С.А., Мукушева А.С., Садыков А.А., Никитина И.И. 434

МЕТОДЫ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ
ЗАТРАТ НА ПРЕДПРИЯТИИ
Оралбеков М.Т., Кинтонова А.Ж.. 436